N° d'ordre : 45

THÈSE

PRÉSENTÉE

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE BORDEAUX

POUR OBTENIR LE TITRE DE

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ

(Mention Sciences)

PAR

Davoud RAFIRASME

LICENCIÉ ÈS SCIENCES (TÉHÉRAN)

ANCIEN ÉLÈVE DE L'INSTITUT DE GÉOLOGIE DE L'UNIVERSITÉ DE MILAN.

ÉTUDE HYDROGÉOLOGIQUE ET GÉOCHIMIQUE

Évolution des réserves et de l'humidité au cours d'essais de débit.
Nappe alluviale à Talence (Gironde).

Soutenue le 6 juillet 1966, devant la Commission d'Examen

MM. H. SCHŒLLER, professeur ..... *Président*

M. GOTTIS, Professeur..... } *Examinateurs*

J. EMBERGER, professeur..... }

— 1966 —

ГОСУДАРСТВЕННАЯ ТРЕТЬЯКОВСКАЯ ГАЛЕРЕЯ

N° d'ordre : 45

THÈSE

PRÉSENTÉE

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE BORDEAUX

POUR OBTENIR LE TITRE DE

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ

(Mention Sciences)

PAR

Davoud RAFIRASME

LICENCIÉ ÈS SCIENCES (TÉHÉRAN)

ANCIEN ÉLÈVE DE L'INSTITUT DE GÉOLOGIE DE L'UNIVERSITÉ DE MILAN.

ÉTUDE HYDROGÉOLOGIQUE ET GÉOCHIMIQUE

Évolution des réserves et de l'humidité au cours d'essais de débit.
Nappe alluviale à Talence (Gironde).

Soutenue le 6 juillet 1966, devant la Commission d'Examen

MM. H. SCHŒLLER, professeur ..... *Président*
M. GOTTIS, Professeur..... } *Examinateurs*
J. EMBERGER, professeur..... }

— 1966 —

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Université
de
BORDEAUX

FACULTE DES SCIENCES

Doyen honoraire M. BRUS

Doyen M. CALAS

Professeurs honoraires

M. KASTLER.....Professeur à la Sorbonne
M. QUELET.....Professeur à la Sorbonne
M. PISOT.....Professeur à la Sorbonne
Mle JOSIEN.....Professeur à la Sorbonne

Professeurs

M. DANGEARD.....Botanique
M. GENEVOIS.....Chimie biologique et Phys.vég.
M. CAU.....Physique expérimentale
M. BRUS.....Chimie
M. AVEL.....Zoologie et physiologie animale
M. ROUSSET.....Physique générale
M. ROGER.....Mécanique rationnelle
M. WEILL.....Anatomie comparée et embryogénie
M. DUFRESNOY.....Mathématiques générales
M. LAFON.....Physiologie générale
M. BOUNHIOL.....Biologie animale
M. SERVANT.....Physique
M. CALAS.....Chimie organique
M. GAY.....Cristallographie et minéralogie
M. PACAULT.....Chimie physique
M. SCHOELLER.....Géologie
M. DAVID.....Biologie végétale
M. COLMEZ.....Méthodes mathématiques de la physique
M. CAMBAR.....Biologie animale
M. VIGNEAUX.....Géologie
M. PANOUSSE.....Zoologie(détaché à la Faculté des Sciences du Maroc)
M. ARZELIES.....Physique(détaché à la Faculté des Sciences du Maroc)
M. RIBEREAU-GAYON.....Cenologie
M. RISS .....Mathématiques
M. GUIZONNIER.....Physique
M. HAGET.....Zoologie expérimentale
M. SEMIROT.....Astronomie
M. CHASTEL.....Physique nucléaire
M. HAGENMULLER.....Chimie minérale
M. ALLARD.....Chimie
M. CREAC'H.....Biologie animale S.P.C.N.
M. LOUDETTE.....Mécanique physique
M. PATY.....Chimie
M. BORDES.....Préhistoire
M. SECHET.....Botanique
M. LAFARGUE.....Physique - C.S.U. de PAU -

M. BAGANAS.....Mathématiques
M. VALENTIN.....Radioélectricité
M. ENNOUCHI.....Géologie(détaché à la Faculté des Sciences du Maroc)
M. EYME.....Botanique
M.FRAINNET.....Chimie organique
M. RUAMPS.....Physique électronique
M. DESCHAMPS.....Chimie - C.S.U. de PAU -
M. HOARAU.....Chimie physique
M. LALANDE.....Chimie appliquée
M. MARCHAND.....Chimie
M. GOTTIS.....Géologie dynamique
M. LEMANCEAU.....Chimie
M. CLASTRE .....Cristallographie physique
M. BLONDEL.....Mathématiques
M. SOURRISSEAU.....Chimie M.P.C. - S.P.C.N.
M. JOUSSOT-DUBIEN.....Chimie M.P.C. - S.P.C.N.
M. MAYER.....Physique - C.S.U. de PAU -
Mle FAURE-MURET.....Géologie (détachée à la Faculté des Sciences du Maroc)
Mle LAFFITTE.....Physique M.G.P.
M. ROCH.....Physique
M. LOCHET.....Physique
M. VALADE.....Chimie organique
M. VINDT.....Biologie végétale
M. REGNIER.....Mathématiques
M. DESTRIAU.....Chimie
M. PETIT.....Physique corpusculaire
M. CLIN.....Géologie
M. BARAUD.....Chimie biologique
M. EMBERGER.....Géologie
M. CARDO.....Psychophysiologie
M. SIMONOFF.....Chimie physique
M. BOTHOREL.....Chimie
M. CHARRU.....Physique M.P.C.
M. LASCOMBE.....Chimie
M. N.....Calcul infinitésimal

Maître de conférences honoraire - M. DE PUYMALY

Maître de conférences associé - M. TRAN TRONG

Maîtres de conférences -

M. BONASTRE.....Chimie - C.S.U. de PAU -
M. RIMPAULT.....Physique théorique
M. BARETS.....Biologie animale
M. GROMB.....Chimie - C.S.U. de PAU -
M. BELLON.....Chimie(détaché à la Faculté des Sciences du Maroc)
M. HARDY.....Chimie minérale
M. BERTHE.....Mathématiques - C.S.U. de PAU -
Mme VINH MAU.....Physique théorique
M. BOUSSEAU.....Physique
M. RIBEREAU-GAYON Pascal.....Chimie oenologie
M. PINEAU.....Chimie minérale(détaché à la Faculté des Sciences du Maroc)

M. DUBOST.....Physique - C.S.U. de PAU -
M. DUPUY.....Physique - C.S.U. de PAU -
M. MENNRATH.....Physique
M. LEVEQUE.....Géologie approfondie
M. ANDRE.....Biologie générale
Mle DUTRIEU.....Physiologie animale
Mme PETIT.....Physique
M. RAULT.....Chimie minérale
M. BOUAS-LAURENT.....Chimie organique
Mme LEHMANN.....Calcul des probabilités
M. LEHMANN.....Mathématiques
M. MATTENET.....Mathématiques (C.S.U. de PAU)

Conseiller Administratif - M. LLORENS

A tous ceux qui vouent leur vie
à la recherche scientifique

A mon Frère avec l'expression
de tous mes sentiments

AVANT - PROPOS

-=-=-=-

Les recherches qui font l'objet de ce travail ont été réalisées dans le cadre du Centre d'Hydrogéologie de la Faculté des Sciences de Bordeaux.

Nous ne saurions envisager la soutenance de cette thèse sans adresser notre profonde gratitude à Monsieur le Professeur SCHOELLER, pour la confiance qu'il nous a accordée en acceptant le diplôme et les certificats que nous avons préparés à l'Université de MILAN (Italie) et aussi pour l'enseignement et les conseils qu'il a toujours témoignés à notre égard dans son Centre de Recherches. Notre but aura été atteint si cette étude a pu le satisfaire.

Nous devons associer au nom de Monsieur le Professeur SCHOELLER, ceux de Messieurs les Professeurs GOTTIS, et EMBERGER, qui ont bien voulu accepter de siéger dans notre Jury, et nous ont fait l'honneur de juger notre travail.

Notre reconnaissance va également à Monsieur l'Ingénieur J.MARCESSE, Directeur de la section de Radio-Agronomie du Centre d'Etudes Nucléaires DE CADARACHE, pour la documentation qu'il a mise à notre disposition et pour l'intérêt qu'il a bien voulu porter à nos travaux.

Nous prions Messieurs PRATVIEL et POUCHAN, Maître-Assistants au Laboratoire et Monsieur Marc SCHOELLER, de trouver ici l'expression de notre gratitude pour les savants conseils et l'assistance technique qu'ils nous ont prodigués.

Nous tenons à souligner la reconnaissance que nous devons à tous les Assistants du Centre d'Hydrogéologie, et principalement Messieurs CAZAL et AUBIC, qui ont bien voulu nous prodiguer leurs conseils dans l'atmosphère amicale qui nous a entouré.

Que Monsieur LEFORT et le Personnel Technique du Centre d'Hydrogéologie reçoivent l'assurance de nos sincères remerciements pour l'aide qu'ils nous ont apportée.

-=-=-=-=-=-

TABLE DES MATIERES

-=-=-=-=-

Pages

- AVANT-PROPOS -

- INTRODUCTION -

Première partie

- I - ETUDE SUR LE TERRAIN..... I

COMPOSITION GEOLOGIQUE DE L'AQUIFERE..... I

ASPECT GENERAL DE LA NAPPE..... 2

INSTALLATION ET DEVELOPPEMENT DU FORAGE ET DES PIEZOMETRES. 4
I) Installation du forage..... 4
2) Installation des piézomètres..... 5
- Coupes lithologiques du forage et des piézomètres n°4 et 5..... 5

CONCLUSION..... 6

- II - ETUDE DES ECHANTILLONS..... 7

PROPRIETE HYDRAULIQUE DES TERRAINS..... 7
I) Granulométrie..... 7
a/ les courbes cumulatives..... 8
b/ coefficient d'uniformité..... 8
c/ la médiane ou grossiéreté d'ensemble..... 9
d/ le classement..... II
e/ l'indice d'asymétrie..... II
f/ l'indice d'asymétrie interquartile..... II
g/ pourcentage de silt et argile..... I2
h/ dosage d'argile par analyse chimique..... I2

2) Porosité totale..... I4
3) Porosité effective..... I5
4) Perméabilité..... I7
5) Humidité, profils hydriques..... I9
a/ lentille argileuse locale de la nappe..... I9
b/ la frange capillaire..... 20

RESUME ET RESULTATS..... 2I

Deuxième partie

- I - HYDRAULIQUE SOUTERRAINE DE LA NAPPE PLIO-QUATERNAIRE..... 23
RESUME ET INTERPRETATION DES PARAMETRES DU TERRAIN AQUIFERE 23

I) Légende des conventions employées..... 23
- Le quotient de piézotransmissivité T/S..... 24

REMARQUE..... 24

- II - ETUDE DES ESSAIS DE POMPAGE ET INTERPRETATION DES COURBES... 26

PREMIER ESSAI DE POMPAGE..... 26
I) Méthode exacte de Theis..... 26
REMARQUE..... 27
2) Méthode approximative de Jacob..... 27
3) Remontée par la méthode de Theis..... 28

DEUXIEME ESSAI DE POMPAGE..... 29
I) Méthode de Theis..... 29
2) Méthode de Jacob..... 29
3) Remontée par la méthode de Theis..... 29

CALCUL DE L'EPAISSEUR TOTALE DE L'AQUIFERE EN REMONTEE... 30
Remontée : méthode de Houpeurt modifiée par Pouchan. 30

TROISIEME ESSAI DE POMPAGE..... 3I
I) Méthode exacte.....?..... 3I
2) Méthode de Jacob..... 3I
Remontée : méthode de Theis..... 3I
Remontée : méthode de Houpeurt - Pouchan..... 32

QUATRIEME ESSAI DE POMPAGE..... 32
I) Méthode de Theis..... 32
2) Méthode de Jacob..... 34
Remontée par la méthode de Theis..... 34
3) Méthode de Houpeurt modifiée par Pouchan..... 35

CINQUIEME ESSAI DE POMPAGE..... 35
I) Méthode exacte de Theis..... 35
COURBES RABATTEMENT - DISTANCE..... 36
Etude de la descente dans une rangée de piézomètre.. 36
a/ méthode de Theis..... 36
Déréglement des courbes..... 37
b/ méthode approximative..... 37
Remontée par la méthode de Houpeurt-Pouchan..... 39

SIXIEME ESSAI DE POMPAGE..... 40
Descente dans un état semi-permanent..... 40
a/ application de la méthode de Dupuit..... 40
REMARQUE..... 4I
b/ méthode de Thiem..... 4I

CONCLUSION ET CRITIQUE..... 42

RECENSEMENT DES NIVEAUX PIEZOMETRIQUES ET FLUCTUATION DE LA NAPPE..... 46

I) Niveau piézomètrique et fluctuation de la nappe..... 47
2) Variation du niveau et caractéristiques physico-chimiques de la nappe plio-quaternaire..... 48
3) Etiage et crue de la nappe..... 48
4) Variation de la teneur en chlore de la nappe..... 49
5) Variation de la teneur en carbonate et bicarbonate de la nappe..... 49

Troisième partie

- I - MESURE DE L'HUMIDITE PAR METHODE NUCLEAIRE..... 50

METHODE NEUTRONIQUE..... 50
- fonctionnement..... 50
REMARQUE..... 52
- sphère d'influence..... 52
MESURE DE REFERENCE DE L'ETUI ET CONVERSION DES VALEURS "R" EN TAUX D'HUMIDITE REELLE H_V..... 52

INSTALLATION DES TUBAGES..... 53

ETALONNAGE DE LA SONDE..... 54
I) Etalonnage en milieu 100% humide..... 54
2) Etalonnage en milieu ayant une humidité $\simeq 0$..... 54

ETALONNAGE EN MILIEU POREUX ET SATURE..... 55
Courbe d'étalonnage..... 56

- II - DETERMINATION DE L'HUMIDITE DU SOL PAR LA SONDE A NEUTRONS.. 58

PROFILS HYDRIQUES OBTENUS PAR LA METHODE NUCLEAIRE..... 58
REMARQUE IMPORTANTE..... 58
PROFILS HYDRIQUES DU TUBAGE N°I..... 59
la partie saturée..... 59
la frange capillaire..... 60
la zone de rétention..... 60
la zone d'aération..... 60

PROFILS HYDRIQUES DU TUBAGE N°2..... 64

PROFILS HYDRIQUES DU TUBAGE N°3 & 4..... 65

PROFILS HYDRIQUES DU TUBAGE N°5..... 66

PROFILS HYDRIQUES DU TUBAGE N°6..... 67

EVOLUTION DE L'HUMIDITE DU SOL DANS LE CONE DE DEPRESSION ET ESSAI DE BILAN PENDANT LA DUREE DU POMPAGE..... 68

I) Evolution de la teneur en eau dans le cône de dépression..... 68
- interprétation des courbes..... 70
- I^{e} point de mesure..... 70
2^{e} " " " 71
3^{e} " " "
4^{e} " " "
5^{e} point de mesure..... 72
6^{e} " " "
7^{e} " " "
8^{e} " " "
9^{e} point de mesure..... 73
I0^{e} " " "
II^{e} " " "
I2^{e} " " "
I3^{e} " " "

CONCLUSION..... 74

2) Détermination de la provenance du volume d'eau enlevé par pompage..... 76
- volume d'eau provenant de la variation d'humidité du cône de dépression..... 76
- volume amené par l'écoulement de la nappe..... 78
- volume d'eau écoulé..... 78

CONCLUSION..... 79

Quatrième partie

- GEOCHIMIE DE LA NAPPE PLIO-QUATERNAIRE..... 80

- I - LES ANALYSES COMPLETES..... 8I

- la force ionique..... 82
- le pH d'équilibre..... 82
- le K_r..... 84
- produit de solubilité S du SO_4Ca..... 85
- indice de déséquilibre chlore-alcalin..... 85

ETUDE DE LA CONCENTRATION DE L'EAU..... 86
- ligne de courant..... 86
- le calcium..... 87
- le magnésium..... 87
- sodium et potassium..... 87
- sulfate en SO_4..... 88
- le fer..... 88

- II - LES ANALYSES PARTIELLES..... 90

I) le pH..... 90
2) la résistivité..... 90
3) le chlore..... 9I
4) le titre alcalimétrique..... 9I

CONCLUSION..... 92

CONCLUSIONS GENERALES..... 93

- ANNEXES - A..... 94

B..... 98

C..... I05

- BIBLIOGRAPHIE..... II4

-=-=-=-=-=-

I N T R O D U C T I O N

La connaissance des eaux souterraines avait déjà de l'importance à l'Antiquité. L'utilisation des sources et les ouvrages de captage sont d'une intérêt majeur depuis plus longtemps et ont été l'objet d'un grand développement dans le domaine de l'agriculture et de la technique. Mais l'étude scientifique des eaux souterraines est récente, fondée sur les principes de la géologie. Sans cette dernière et sans connaître la situation topographique du milieu, il serait très difficile de comprendre la condition du bassin versant, les limites de la zone d'alimentation, celles de vidange et d'établir le bilan de la nappe. De plus, pour connaître les limites hydrogéologiques de la nappe, autrement dit les limites latérales et limites profondes, la géologie nous sera d'un grand secours.

La notion du système de nappe aquifère nous donne les moyens d'appliquer différentes méthodes hydrauliques afin de calculer les propriétés de la nappe, car le but de l'hydrogéologie et de l'hydrogéologue est d'obtenir le maximum d'eau avec un minimum de dépenses et de temps.

Depuis longtemps de nombreuses théories concernant les eaux souterraines ont été avancées. Deux sont valables. La première établie par VITRUE et reprise plus tard par certains savants comme Bernard PALISSY, explique la présence des eaux souterraines par la pénétration des eaux superficielles issues des précipitations pluviomètriques. La deuxième exprimée par ARISTOTE et prouvée par VOLGER à l'aide des mathématiques fait entrer en jeu la condensation de la vapeur d'eau chydrothermale au contact des terrains superficiels plus froids. NORDNSK-JOLD appuie cette théorie par la présence d'eau douce dans des mines finlandaises, dont le niveau est plus bas que la profondeur de la mer, par l'existence d'eau dans des roches erruptives et métamorphiques à 35 mètres de profondeur et par le fait que le volume débité de

nombreux puits en Suéde et en Finlande est supérieur au volume que peut leur apporter l'infiltration des eaux de précipitation atmosphérique.

AGRICOLA, lui, fait intervenir les deux phénomènes précédents, d'une part l'infiltration des eaux de pluies et d'autre part la condensation des vapeurs d'eau hydrothermale. Quant à l'origine première des eaux douces souterraines, conformément à l'opinion de PLATON, KEPLER et DESCARTES, elles résulteraient de la transformation des eaux salées marines par la chaleur de la terre.

A notre époque, cette opinion est valable en ce qui concerne la présence d'eau douce dans les roches métamorphiques.

D'ailleurs, certaines des nappes exploitées par des puits artésiens en Afrique et au Moyen-Orient, dont l'eau est appelée "eau fossile" ont une grande ancienneté. D'autres sortes d'eaux souterraines sont des eaux géothermales qui remontent du fond de la terre à la suite de phénomènes tectoniques. Parmi celles-ci on peut distinguer l'eau juvénile qui est d'après SUESS le résidut de transformations chimiques profondes montant sous l'influence de la chaleur vers la surface, sous la forme d'un mélange d'eau chaude et de gaz.

.
. .

Dans cette thèse nous nous proposons l'étude hydraulique souterraine de la nappe plio-quaternaire, la vérification des caractéristiques des propriétés hydrauliques du terrain, l'application de la méthode Neutronique pour l'étude de l'humidité, l'évolution du cône de dépression de la nappe et l'étude géochimique, tout ceci étant la mise en pratique de l'expérience que nous avons acquise au cours de l'année Universitaire 1964-1965.

Cette thèse comprend les résultats de ces études et les expériences acquises.

PREMIERE PARTIE

CHAPITRE - I

ETUDES SUR LE TERRAIN

- COMPOSITION GEOLOGIQUE DE L'AQUIFERE -

La nappe qui fait l'objet de notre étude est localisée dans la terrasse moyenne, ce terrain est bordé par des dépôts éoliens à l'Ouest et des alluvions récentes à l'Est et en grande partie au Nord et Sud.

La zone concernant notre étude se situe à sept kilomètres au Sud de la ville de Bordeaux.

La Garonne, au cours de l'ére quaternaire, a déposé autour de son lit actuel des alluvions épaisses, représentées par trois terrasses successives :

a^{Ic} : la terrasse inférieure, cette terrasse a la base formée en majorité de sable argileux fin, et ses parties moyenne et supérieure constituées d'éléments plus ou moins mélangés de sable, gravier et petits cailloux

a^{Ih} : la terrasse moyenne, elle intéresse plusieurs plaines alluviales correspondant à des déplacements latéraux du cours de la Garonne. La majorité des dépôts de cette terrasse est constitué par des galets sur lesquels repose une association de cailloutis grossiers et de limons argilo-sableux qui représentent les restes de la formation.

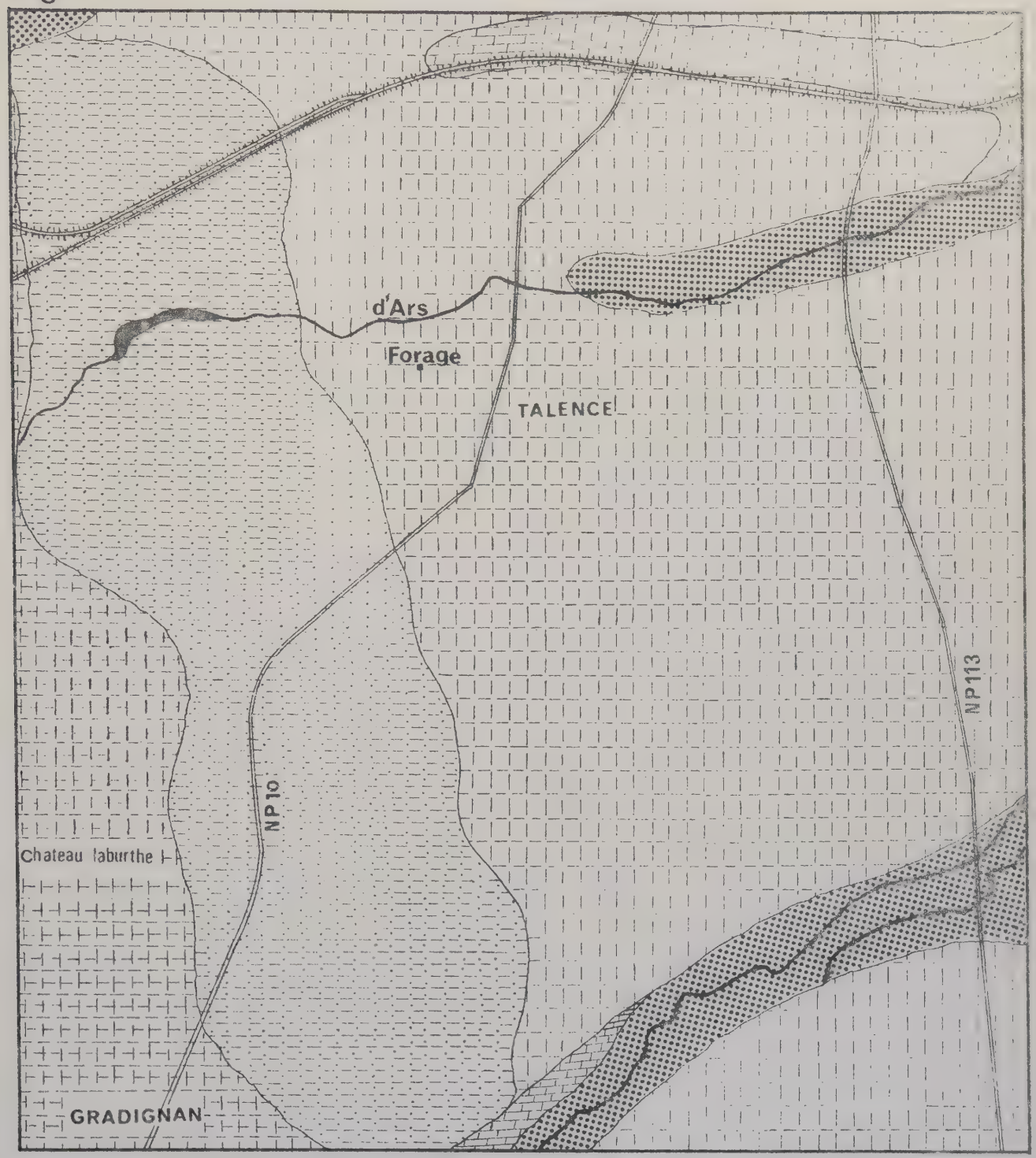
a^{Ia} : la terrasse supérieure, elle est très étendue et c'est la mieux développée, elle comprend en certains points des argiles verdâtres ou plus ou moins bariolées, recouvrant des sables graveleux, eux-mêmes reposant sur des niveaux argileux et sableux, avec lits localisés de graviers.

La nappe étudiée ici se situe dans les alluvions de la terrasse moyenne et s'étend directement sur la formation dite de "Calcaire à Astéries" très développée dans la région de Bordeaux.

Cette formation de calcaire affleure localement par

CARTE GÉOLOGIQUE DE TALENCE

D'aprés les feuilles: La Teste et Bordeaux



A: Eboulis, argiles, alluvions dunaires

a^{1D}: terrasse moyenne.

a^{2}: Alluvions recentes.

m_{II}: calcaire Stampien. «à Astéries»

a^{1C}: terrasse inférieure.

ECH: $\frac{1}{25.000}$

exemple à l'angle de l'Avenue de la Libération et du Chemin Roul, à l'intérieur de la Faculté. Elle est en général masquée par les alluvions de la terrasse moyenne. Par conséquent la nappe de la terrasse moyenne a des limites peu éloignées.

Enfin nous avons constaté que ses alluvions sont entièrement hétérogènes et d'épaisseur très variable.

Pour étudier cette hétérogénéité nous avons prélevé 94 échantillons, pendant l'installation des tubages, et grâce à un sondage, nous avons étudié l'évolution de leurs granulométries, de leurs porosités, de leurs perméabilités ainsi que leurs pourcentages de silt et d'argiles. Nous avons mesuré leurs taux d'humidité, leurs capacités de rétentions et leurs porosités effectives.

- ASPECT GENERAL DE LA NAPPE -

La nappe que nous nous proposons d'étudier se trouve dans un terrain à interstices poreux et dans ce type de terrain, le mouvement est presque toujours laminaire, tandis que dans les terrains à porosité de chenaux ou de fissures, l'écoulement peut être turbulent ou mixte à coté d'un pompage.

Par conséquent, elle suit un régime laminaire, où la résistance à l'écoulement ou perte de charge par unité de longueur est directement proportionnelle à la viscosité et à la vitesse.

Cette nappe est une nappe phréatique qui a une surface libre en contact avec l'atmosphère, aussi la pression de cette surface est égale à la pression atmosphérique.

Il s'agit d'une nappe libre qui devient en régime transitoire au cours de pompage et comme nous l'avons vu au cours de six essais de pompage, le niveau piézomètrique ne se stabilise pas, même depuis trois mois de pompage régulier.

Mais à partir de ce moment-là nous avons constaté une stabilisation relative correspondant à un état environ semi-permanent pour cette nappe, ce qui nous permettra d'appliquer la méthode de Dupuit.

Comme nous en parlerons à la suite, au cours des deux derniers essais de pompage, l'un d'une durée de I3 jours, et l'autre d'une durée de 95 jours, parmi les piézomètres concernant notre étude, le niveau piézomètrique avait dépassé même la crépine, et le puits de la Préhistoire était à sec. Ces phénomènes expliquent qu'il s'agit d'un régime transitoire et que le débit de la nappe au cours du pompage ne reste pas non plus tout à fait fixe, c'est-à-dire qu'il n'est pas constant et indépendant du temps. De ce fait la quantité d'eau qui sort de la nappe au cours des essais de pompage n'est pas exactement la même que celle qui y entre.

D'autre part, les étalonnages de la sonde à neutrons nous ont prouvé qu'il s'agit d'une nappe à alimentation verticale, ce qui veut dire qu'elle s'alimente par sa propre surface, par infiltration de l'eau atmosphérique. En plus nous avons vu pendant le dernier essai de pompage, que jusqu'au 39ème jour le niveau de la nappe baissait régulièrement et à cette époque nous avions un rabattement maximum pour le piézomètre n°I égal à 3,34m. et pour le n°2, égal à 2,55m., pour le piézomètre n°5 (amont de la nappe) rabattement égal à I,43m. et pour celui du n°4 (situé en aval de la nappe) égal à I,06m. par rapport au sol (confer planche n°48). Mais à partir du 40ème jour jusqu'au 90ème jour de pompage le niveau remontait pour tous les piézomètres, même dans le puits de la Préhistoire, où de nouveau il y avait de l'eau, et à partir du 3ème mois de cet essai de pompage jusqu'à l'arrêt, on s'est rendu compte qu'approximativement la nappe se stabilisait.

Ces phénomènes représentent la période d'alimentation de la nappe pendant la saison de crue, d'ailleurs, même s'il ne pleuvait pas pendant une semaine, le niveau ne cessait pas de remonter à partir du 40ème jour, c'est pour cela que l'on pense qu'en plus d'une alimentation verticale, il se produit une alimentation latérale pour cette nappe.

Nous avons constaté que la saturation complète et uniforme du terrain aquifère en hiver diminue la différence de charge hydraulique (d h) entre l' amont et l'aval, et par conséquent diminue aussi de gradient hydraulique (dh/dl). Mais nous pouvons dire qu'en période d'étiage les ruisseaux autour de la nappe drainent l'eau de cette nappe.

Etant donné que cette nappe est phréatique et peu profonde, elle se vidange d'une part par sa propre surface à cause de l'évaporation et la transpiration, qui sont capables d'attirer l'eau vers l'atmosphère et en particulier ces phénomènes ont une influence sur la zone de frange capillaire, d'autre part, elle se vidange par les ruisseaux qui sont autour d'elle avec une grande pente.

- INSTALLATION ET DEVELOPPEMENT DU FORAGE ET DES PIEZOMETRES.-

Nous pouvons voir sur la planche 2, tous les piézomètres sauf le n°9, rangés sur trois lignes qui suivent la direction des filets liquides locaux.

- la première ligne comprise entre le forage et les piézomètres I-2 3 - 4 - 5.
- la deuxième ligne comprise entre les piézomètres n°6 - I0 - II
- la troisième ligne comprise entre les piézomètres n°7 - 8

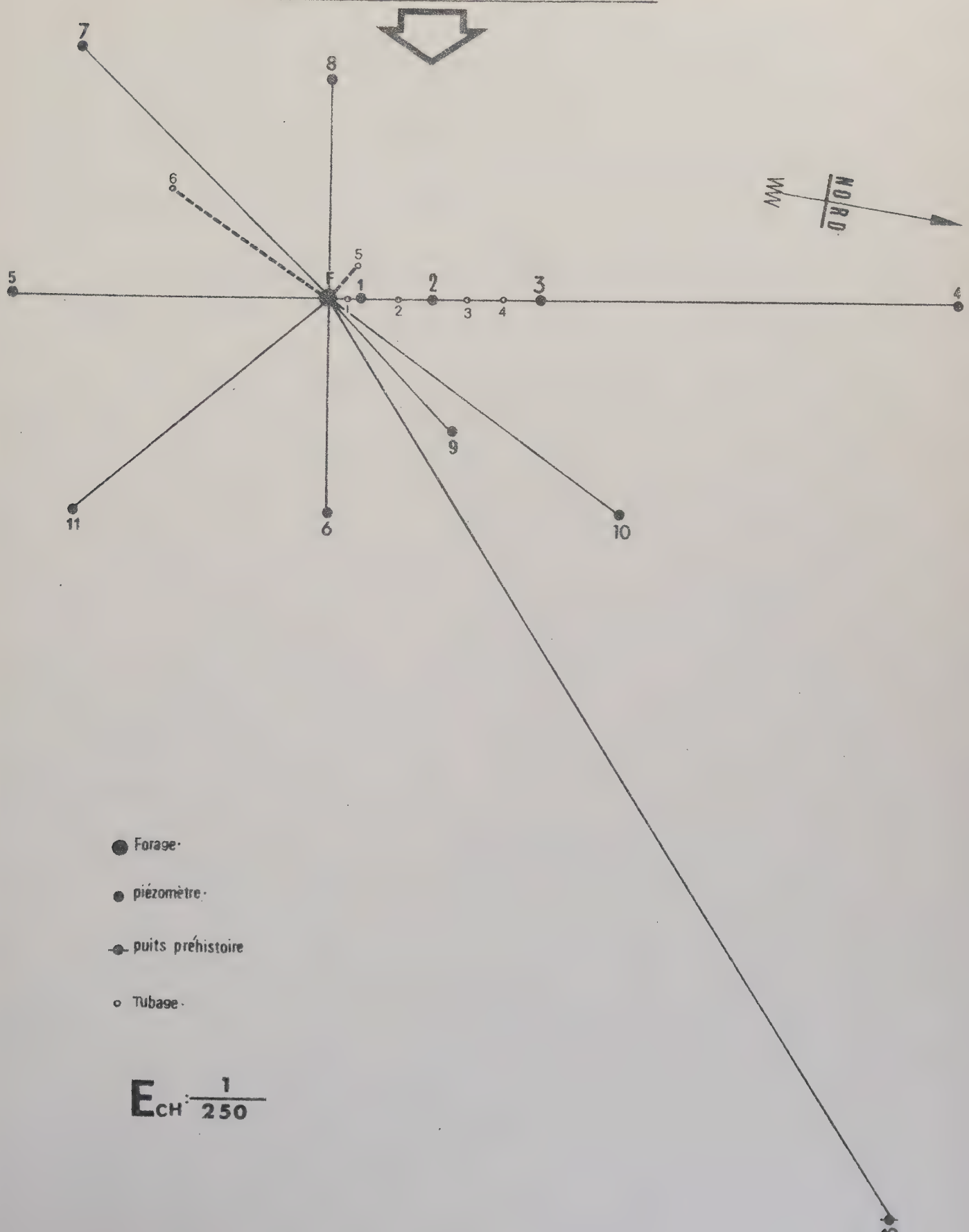
et tous ceux-ci sont enfoncés dans la terrasse moyenne de la Garonne à une profondeur presque égale.

I) - Installation du forage :

La forage a une profondeur égale à I2,50m. Il a été foncé jusqu'à I6m. Mais on s'est aperçu qu'à partir de I2,25m., se situe une formation imperméable composée d'argile sableuse, c'est pourquoi on a bouché cette partie de la couche inférieure d'aquifère jusqu'au niveau de I2,50m. On a installé dans ce forage deux tubes successifs : le tube extérieur ayant 300 - 320mm. de diamètre, est descendu d'abord jusqu'à I2,50m., mais à la fin de la perforation on l'a remonté jusqu'à 7,25m. à cause du développement du forage et de la mise en place du gravier.

Pl.2

SCHÉMA DE L'INSTALLATION DES PIÉZOMÈTRES, DU TUBAGES ET DU FORAGE



- Forage.
- piézomètre.
- puits préhistoire
- Tubage.

ECH : 1/250

Les parties crépinées sont situées entre 7,25 et 10,35 et entre 10,40 et 11,50 m de profondeur. Une pompe immergée équipe le forage.

2°) Installation des piézomètres

11 piézomètres de 200 mm de diamètre ont été installés. A leur base la partie crépinée a 85 cm de hauteur.

Coupes lithologiques du forage et des piézomètres n° 4 et 5

Forage : coordonnées Lambert : X = 368,05 Y = 282,76 Z = 21,5 m N.G.F.

- de	0	à	0,80 m.	: terre meuble
	0,80	à	1,36	: sable aliotique
	1,36	à	1,60	: sable marron
	1,60	à	3,30	; sable blanc
	3,30	à	6,50	: sable et gravier
	6,50	à	7,00	: silt et argile
	7,00	à	10,40	: sable grossier
	10,40	à	12,25	: galets et graviers blancs, anguleux
	12,25	à	12,65	: argile rouge sableuse
	12,65	à	16,00	: argile sableuse

Première crépine de : 5,25 à 10,35 m.

Deuxième crépine de :10,40 à 11,50 m.

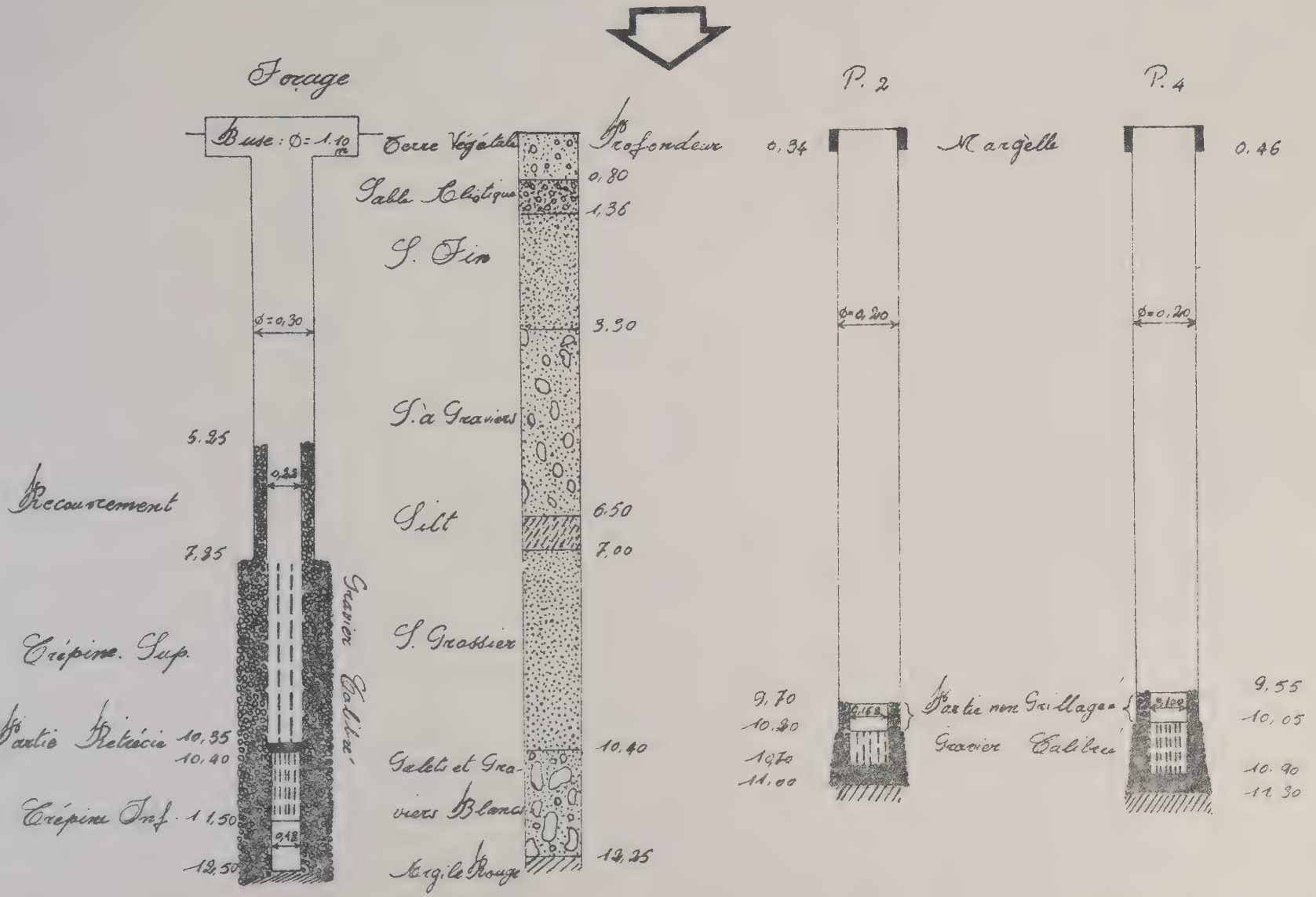
Piézomètre n°4 :

- de	0	à	0,50 m.	: terre meuble
	0,50	à	1,00	; graviers noirs
	1,00	à	1,50	: alios
	1,50	à	2,80	: sable jaune, argileux
	2,80	à	5,80	: sable gris argileux
	5,80	à	6,50	: Sable gris
	6,50	à	9,00	: argile marneuse
	9,00	à	9,50	: sable blanc
	9,50	à	10,90	: graviers et sable
	10,90	à	11,30	: argile rouge

Recouvrement : de 9,55 à 10,05 m.

Crépine de 10,05 à 10,90 m.

SCHÉMA DU FORAGE & DES PIÉZOMÈTRES NUMERO «2&4»



Pl.3

Piézomètre n° 5

- de	0	à	0,50 m.	: terre meuble
	0,50	à	1,00	: alios
	1,00	à	1,20	: sable marron et graviers
	1,20	à	2,50	: sable marron et jaune
	2,50	à	6,00	: sable blanc et jaune
	6,00	à	8,50	: sable blanc
	8,50	à	9,70	: marne sableuse
	9,70	à	10,70	: sable et graviers épars
	10,70	à	11,00	: marne sableuse

Recouvrement de : 9,35 à 9,85 m.

Crépine de : 9,85 à 10,70 m.

- CONCLUSION GENERALE -

Nous remarquons qu'en comparant les coupes lithologiques le forage se situe là où les formations grossières sont les plus épaisses : sables grossiers de 7 à 10,40 mètres, galets et graviers sableux de 10,40 à 12,25 mètres.

Or la puissance totale de l'aquifère est $\mathcal{E} = 5,25$ m. Dans ces coupes, nous pouvons constater que la partie supérieure de l'aquifère varie d'un piézomètres à l'autre, on voit des passages plus ou moins argileux d'épaisseur et de profondeur variables, alors que la base de l'aquifère reste homogène, constituée par formation argilo-marneuse qui s'étend sur le substratum stampien à faciès " Calcaire à Astéries". Cette formation argilo-marneuse se rencontre à partir de 11,5 mètres environ.

-=-=-=-=-

C H A P I T R E - I I

E T U D E D E S E C H A N T I L L O N S

- PROPRIETE HYDRAULIQUE DES TERRAINS -

Nous étudierons successivement les caractéristiques des propriétés hydrauliques du terrain, ce qui consiste à mesurer la granulométrie, la porosité, la perméabilité, le dosage d'argile à l'aide d'étude de géochimie et le pourcentage d'humidité grâce à 94 échantillons provenant de de la nappe que nous étudions.

En outre, l'exécution de quelques profils hydriques nous a amené à obtenir des renseignements concernant le sable aliotique, silt plus argile, la frange capillaire, l'eau de gravité (spécifique yield) et l'eau de rétention spécifique et ensuite la porosité effective.

Les résultats des mesures et des tableaux correspondant aux valeurs obtenuessont présentés dans ce chapitre (Annexe A, B).

I) - Granulométrie :

En plus de l'examen morphoscopique de 94 échantillons, nous avons effectué plusieurs analyses granulomètriques de sédiments variés, provenant d'un piézomètre fait par nous-même à la tarière, de 9,30m. de profondeur.Les conditions expérimentales ont été les mêmes pour tous les échantillons. Le temps du tamissage a été de I5 minutes, par la tamiseuse électrique et le poids des échantillons secs de I00grs avec la balance électrique, en utilisant les normes A.F.N.O.R., formées de 22 tamis à mailles carrées, rangées par ordre décroissant des mailles se faisant suivant la progression géomètrique à raison de $\sqrt[10]{10} \# 1{,}259$.

On trouvera à l'annexe A, tous les résultats concernant notre étude granulomètrique.

a) Les courbes cumulatives :

La superposition de toutes les courbes cumulatives, montre que dans l'ensemble, il y a une certaine uniformité entre nos échantillons, sauf quelques divergences pour la lentille de silto-argileuse à une profondeur 6,50 - 7,00 m.

Nous avons calculé les coefficients les plus caractéristiques à l'aide de courbes cumulatives de la manière suivante :

b) Coefficient d'uniformité : $c\,u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$ (ALLEN, HAZEN, 1892).

Ce rapport nous indique le degré de classement du sable, plus il tend vers I, plus le sable est classé.

La variation de d_{60} et d_{10} entraîne la variation de c u.

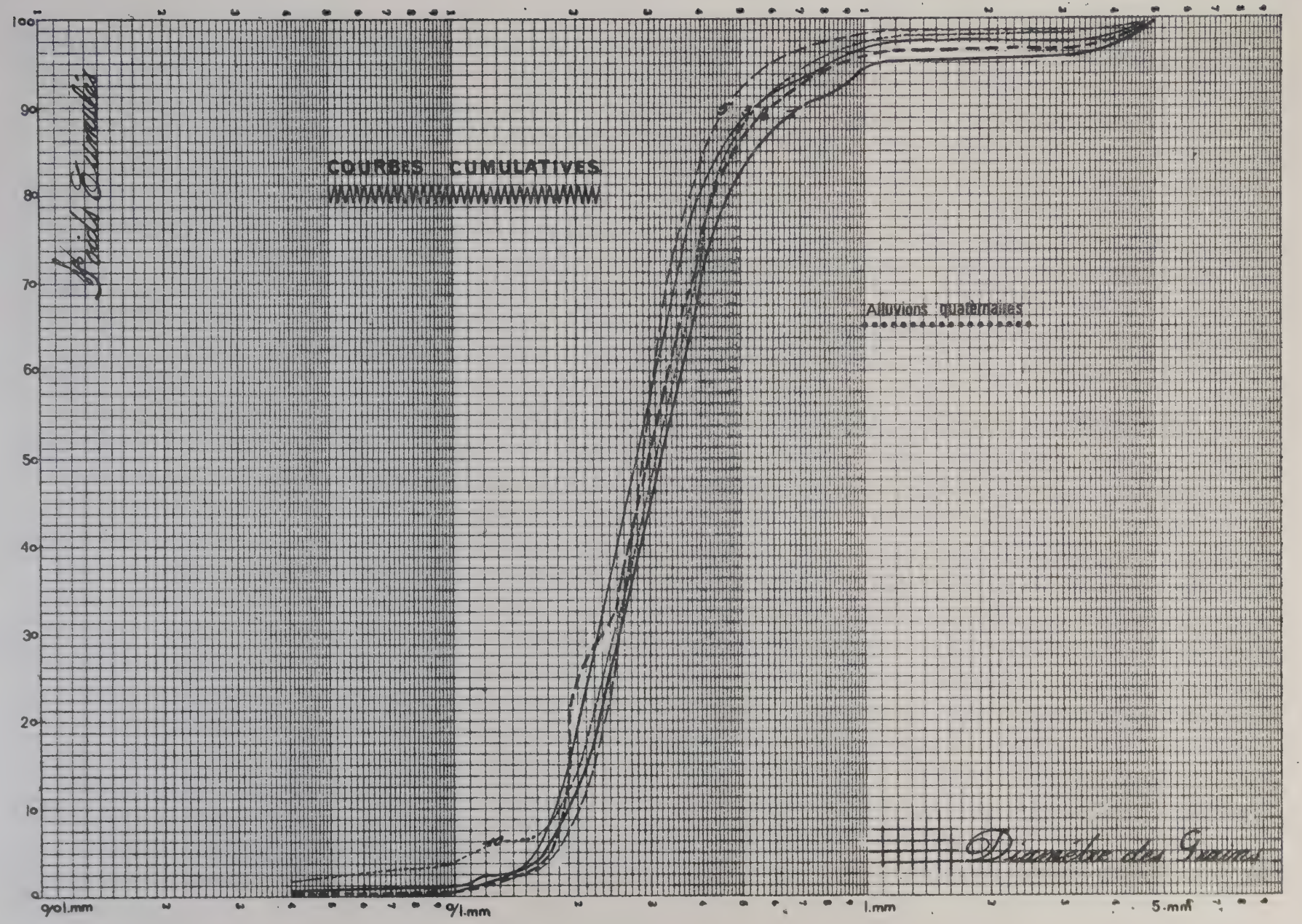
- d_{60}, représentant la taille au-dessous de laquelle nous avons 60 % en poids formé de grains plus grands que celle correspondant à d_{10}.

Les valeurs de d_{60} varient entre 0,361 mm et 0,260 mm (exceptionnellement 0,145 mm pour l'échantillon de silt et argile). Cet indice diminue avec la profondeur de nos échantillons.

- d_{10}, représente la taille effective en-dessous de laquelle nous avons 10 % du poids, formé de grains plus petits, les valeurs de d_{10} sont comprises entre 0,145 mm et 0,201 mm (pour la lentille silt + argile particulièrement 0,035 mm) et diminuent avec la profondeur.

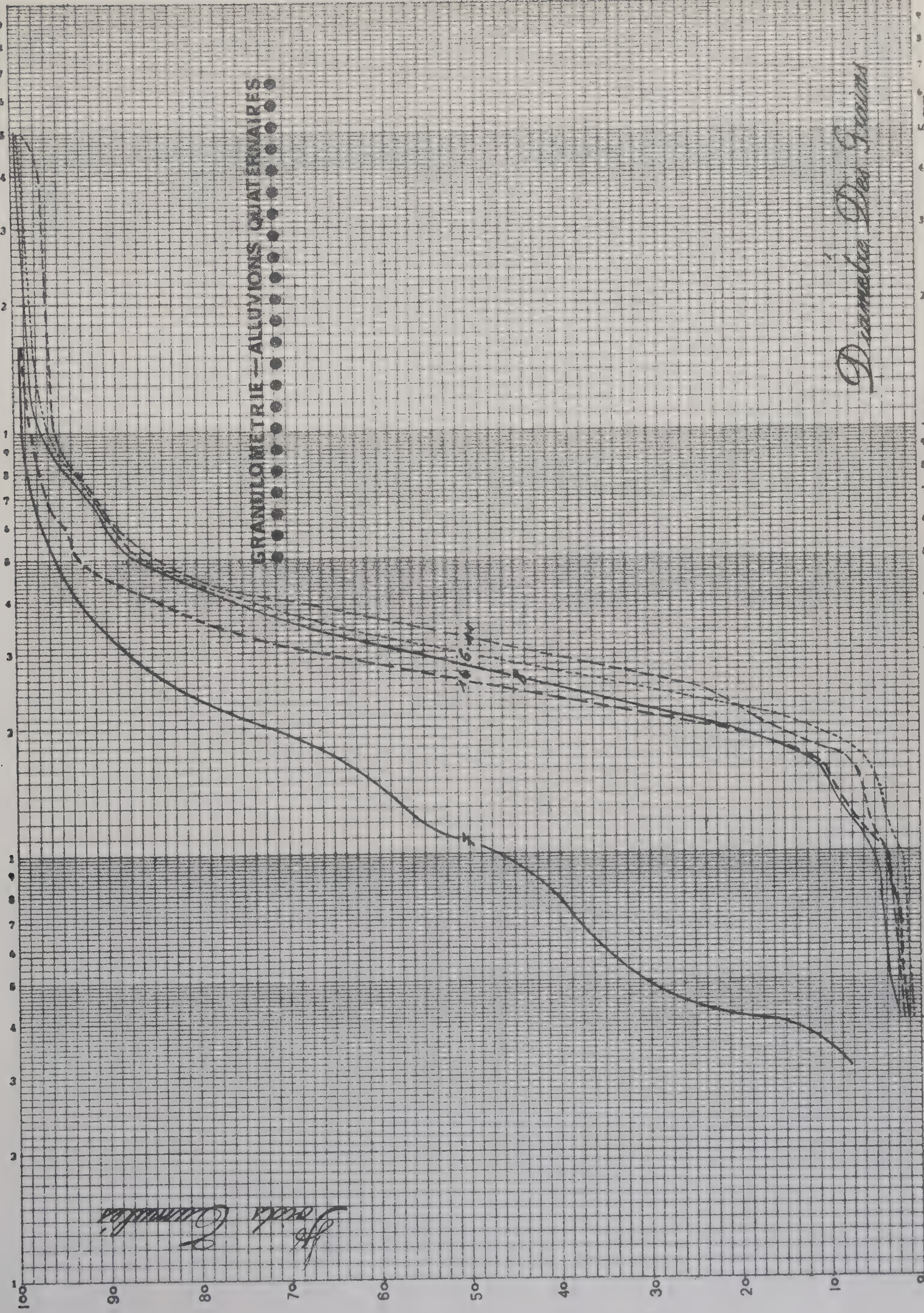
- c u, est en relation avec la porosité des grains, représentant une porosité d'autant plus grande que c u I.

Par conséquent, l'intérêt de connaître ce coefficient est important du point de vue de la connaissance de la porosité des échantillons et le degré hétéromètrique. C'est-à-dire en ce qui concerne nos échantillons comme nous présente le tableau n° 1, ce coefficient d'uniformité n'est pas près de l'unité, donc leur coefficient d'uniformité n'est pas tellement satisfaisant et il nous exprime un remaniement assez profond dans ces sédiments.

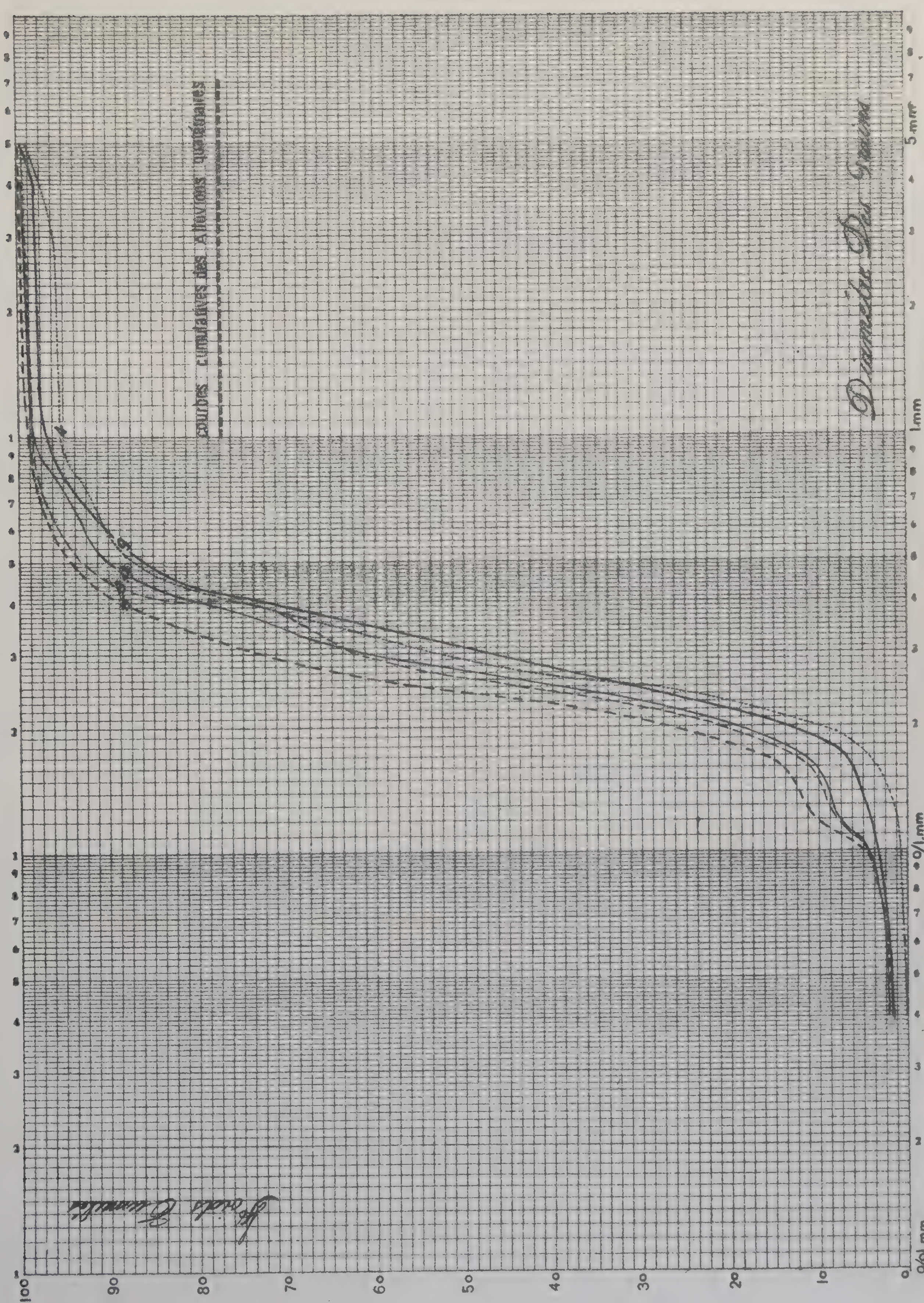

COURBES CUMULATIVES
Poids Cumulés
Alluvions quaternaires
Diamètre des Grains
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0,01mm
0,1mm
1mm
5mm

pl.4

Pl.5


GRANULOMETRIE — ALLUVIONS QUATERNAIRES
Diamètre Des Grains
5 mm
1 mm
0/1 mm
0/01 mm
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0

Pl.6


Courbes cumulatives des Alluvions quaternaires
Diamètre des Grains
5 mm
1.mm
0/1.mm
0/01.mm
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0

c) <u>La médiane ou grossiéreté d'ensemble</u> : $Md = Q_2$

Elle est représentée par la valeur du second quartile Q_2 sur la courbe cumulative, dimension des grains tels qu'il en existe, 50 % de plus petits et 50 % de plus gros ; ou d'une manière équivalente l'abscisse correspondant à l'ordonnée $y = 50$.

La médiane dépend de l'agent de transport, et surtout elle a une valeur régionale et elle diminue avec la puissance de l'agent de transport. D'une façon générale, nous avons constaté que nos échantillons ont une médiane très variée, et elle comprend des écarts suffisamment grands.
Ces valeurs sont comprises entre 0,243 mm et 0,320 mm (pour le silt argileux nous en avions d'égales à 0,107 mm). Cette étude nous a montré que dans notre nappe la grandeur des grains de sable diminue en fonction de la profondeur.

T A B L E A U N°I

RESULTATS RECAPITULATIFS DES EXPERIENCES

d_{10} = taille effective — cu = coefficient d'uniformité

d_{60} = taille au-dessous de 60% en poids — m = porosité totale

N° des courbes	profondeur en m.	nature des grains	d_{10}	d_{60}	cu	m en %	silt + argile en %
I	2,30 - 2,80	sable aliotique	0,I90	0,36I	I,90	28	0,40
2	3,80 - 4,30	sable marron	0,I85	0,332	I,79	28	0,25
3	4,80 - 5,00	sable beige	0,I77	0,3I2	I,76	30	0,I0
4	5,60 - 6,00	sable beige	0,200	0,33I	I,65	33	0,25
5	6,00 - 6,25	sable jaune	0,20I	0,307	I,52	34	0,30
6	6,25 - 6,50	sable marron	0,I88	0,329	I,75	33	0,85
7	6,50 - 7,00	silt + argile	0,035	0,I45	4,I4	38	I5,50
8	7,00 - 7,25	sable jaune	0,I45	0,3I2	2,I5	35	2,35
9	7,25 - 7,50	sable jaune	0,I85	0,350	I,89	32	I,60
I0	7,50 - 7,75	sable beige	0,I80	0,350	I,94	3I	I,80
II	7,75 - 8,00	sable gris	0,I73	0,360	2,08	32	I,50
I2	8,00 - 8,37	sable beige	0,I58	0,298	I,88	32	I,60
I3	8,37 - 8,62	sable beige	0,I50	0,292	I,94	34	I,45
I4	8,62 - 9,00	sable beige	0,I50	0,28I	I,87	33	I,25
I5	9,00 - 9,30	sable beige	0,II8	0,260	2,20	3I	I,45

d/ Le classement : $s_o = \sqrt{\frac{Q_3}{Q_I}}$

Ce coefficient appelé "sorting index" par P.D. TRASK, est un nombre sans dimension qui croît en sens inverse de la perfection du triage.

Lorsque $s_o < 2,5$, le sédiment est bien classé et lorsque $s_o > 4,5$ le sédiment est mal classé, pour $s_o = 3$, le classement est normal.

Nous constatons que nos échantillons sont bien classés d'après cette méthode, car l'indice maximum pour eux est encore inférieur à 2,5mm, et une homométrie aussi parfaite ne peut être due qu'à un agent de transport éolien, tandis que les échantillons de terrasse moyenne sont d'origine fluviatile et cette transformation morphologique ne correspond qu'à un état profondément remanié par ces alluvions.

Nous avons constaté pour les valeurs extrêmes de nos échantillons que plus s_o est grand, plus c u est grand (par exemple pour le silt et argile), mais réciproquement si s_o est plus petit, c u ne sera pas forcément plus petit.

e/ L'indice d'asymétrie : $s\,K = \frac{Q_I \cdot Q_3}{(Q_2)^2}$

Cet indice s'appelle aussi "SKEWNESS coefficient" et dépend de la diversité des matériaux d'origine, des conditions de dépôt ou des remaniements. Lorsque la distribution est symétrique, l'indice est égal à I et le mode au sommet de la courbe de fréquence coïncide avec le diamètre moyen. Lorsque cet indice s'éloigne de l'unité, la dissymétrie s'accroît.

Dans nos échantillons nous voyons une dissymétrie qui varie légèrement d'un point à un autre et qui indique une faible hétéromètrie dans ces échantillons. Pous nos échantillons analysés, sK est de l'ordre de 0,8I0 à I,I5I

f/ L'indice d'asymétrie interquartile : $A\,Sq = \frac{Q_I + Q_3 - 2\,Md}{2}$

Cet indice correspond au coefficient (sK) et pour cet indice l'asymétrie parfaite se traduit lorsque A Sq = 0, si les fins sont

plus nombreux que les gros, l'asymétrie est négative. Elle sera positive dans le cas contraire et dans ce cas la répartition est inégale de part et d'autre de la médiane. Pour nos échantillons cet indice s'exprime entre 0,002 mm et 0,049 mm. De cette façon dans ces échantillons les gros sont plus nombreux que les fins.

Nous avons dressé au tableau n° 2 les principales valeurs des caractères rappelés.

g/ Pourcentage de silt et argile :

D'après l'analyse granulométrique nous avons constaté que la partie pondérale de (silt + argile) dans les sédiments concernant la nappe que nous étudions varie beaucoup d'un échantillon à l'autre, ils en renferment de 0,10 % à 3 % pour les sables et 15,5 % pour la passage silto-argileux ayant une porosité de 38 - 40 % et une perméabilité égale à $8,51.10^{-4}$ l /sec/m^2 c'est-à-dire presque nulle. Ainsi nous voyons que ce pourcentage de silt et argile augmente directement selon la profondeur de la nappe et en plus nous apercevons que l'évolution du coefficient d'uniformité, de la porosité et du pourcentage de silt et argile se fait toujours dans le même sens.

Dosage d'argile par analyse chimique :

Le dosage de l'argile a été effectué par action de l'ammoniaque et de l'eau oxygénée.

T A B L E A U N°2

PRINCIPALES VALEURS DES CARACTERES DE GRANULOMETRIE

Q_I = premier quartile en mm

Q_2 = deuxième quartile égal à la médiane

Q_3 = troisième quartile

S_o = le classement

S_K = Indice d'asymétrie

ASq = indice d'asymétrie interquartile.

N° des courbes	profondeur en mètre	Q_I	Q_2	Q_3	S_o	S K	A Sq
I	2,30 - 2,80	0,238	0,320	0,425	I,332	0,987	0,0II5
2	3,80 - 4,30	0,202	0,299	0,400	I,409	0,904	0,0020
3	4,80 - 5,00	0,2I2	0,280	0,366	I,3I3	0,989	0,0090
4	5,60 - 6,00	0,242	0,290	0,400	I,283	I,95I	0,03I0
5	6,00 - 6,25	0,247	0,290	0,350	I,I90	I,027	0,0065
6	6,25 - 6,50	0,232	0,295	0,40I	I,322	I,069	0,02I5
7	6,50 - 7,00	0,044	0,I07	0,2II	I,I97	0,8I0	0,0205
8	7,00 - 7,25	0,207	0,280	0,390	I,373	I,029	0,0I85
9	7,25 - 7,50	0,233	0,3I0	0,4I2	I,329	0,998	0,0I25
I0	7,50 - 7,75	0,230	0,3II	0,450	I,399	I,070	0,0290
II	7,75 - 8,00	0,248	0,325	0,4I9	I,299	0,983	0,0085
I2	8,00 - 8,37	0,2I6	0,273	0,376	I,320	0,I74	0,0230
I3	8,37 - 8,62	0,2I2	0,262	0,400	I,373	I,235	0,0490
I4	8,62 - 9,00	0,204	0,255	0,330	I,272	I,035	0,0I20
I5	9,00 - 9,30	0,I94	0,243	0,3II	I,264	I,027	0,0I00

Nous avons constaté que ce résultat quantitatif égal à 1,05 g % n'est pas égal au résultat obtenu par la granulométrie 1,25 g % pour le même échantillon, et il y a une faible diminution pondérale entre cela et ce que nous a donné l'analyse de granulomètrie.

Donc en apportant 1,05g % sur la courbe cumulative n°14 de la planche 5, concernant cet échantillon, nous voyons que 1,05 g % représente la taille de grain presque égale à 0,042 mm., jusqu'à cette taille il n'y a que des grains très fins comme l'argile, la poudre et même des sables très fins et bien broyés, car nous considérons que la taille maximum des poudres est de 0,02 mm et des sables très fins de 0,2 mm.

Etant donné que la taille effective maximum pour ce sédiment analysé est de l'ordre de 0,042 et ce chiffre ne représente que des poussières argileuses, la perte entre ces deux mesures, l'une par la granulométrie, l'autre par l'analyse chimique nous fait remarquer que, ce qui reste dans le tamis n° 17 et au fond (nous considérons le tamis n° 16 ayant une maille égale à 0,0315 mm) ne présente pas toujours un mélange de (silt + argile) pur, mais plutôt qu'il s'agit de poussière d'origines différentes.

2°) Porosité totale

Elle a été mesurée par tassement.

Les valeurs obtenues pour 94 échantillons sont comprises entre 24 et 39 %, mais la valeur la plus fréquente est de 30 à 32 %

Les résultats sont rassemblés dans l'annexe B, en ce qui concerne les profils hydriques, car nous avons mesuré la porosité totale en même temps que l'humidité en volume de ces échantillons.

Nous avons vu au niveau de certains sables plus grossiers ou sables fins agglomérés d'alios qu'il se produit une diminution de la porosité, réciproquement celle-ci augmente par la présence de silt et d'argile, puisque dans ce cas il se forme une absorption au niveau des colloïdes.

3°) Porosité effective :

Nous savons que toute l'eau contenue dans les pores d'une roche ne circule pas, l'eau hygroscopique (eau qui résiste à l'évaporation grâce à la force d'absorption moléculaire) n'obéit pas aux lois de l'hydraulique. Il nous faudra donc considérer la porosité effective qui correspond à l'eau libre soumise à la gravité, représentant l'eau de gravité ou eau susceptible d'être enlevée des pores par le pompage. L'eau de rétention, "eau hygroscopique", participe aux lois de l'hydraulique dans la circulation des nappes.

Dans cet intérêt nous avons calculé cette porosité qui montre proportionnellement le coefficient d'emmagasinement de la nappe, pour 26 échantillons provenant du piézomètre que nous avons fait nous-mêmes à la tarière à l'aide de la détermination de la capacité de rétention spécifique par la méthode de centrifugation :

La rétention spécifique du terrain, c'est-à-dire l'eau accrochée aux parois des grains par les forces de tension superficielle qui n'est donc pas susceptible d'être déplacée sous l'effet de la gravité, se détermine par la formule suivante :

$$R = 100 \left(\frac{r}{v}\right)$$

dans laquelle :

R : capacité de rétention spécifique

r : volume d'eau qui résiste à la roche malgré la force de gravité

v : volume solide.

Les valeurs de R en % du volume pour les échantillons analysés est de l'ordre de 6,56 à I3,I2% pour les sables et de 24,I6% pour la lentille argileuse, de sorte que nous pouvons constater que la capacité de rétention varie dans une limite grande pour les sables et qu'elle augmente d'une façon assez remarquable pour le silt et l'argile.

Par conséquent l'énorme quantité d'eau dans des formations argileuses n'est pas susceptible de s'égoutter du terrain et d'être reprise par pompage. Tandis que les dépôts des éléments gros ont une capacité de rétention très faible et l'eau circulant dans ces formations est susceptible d'être reprise par pompage.

En ayant le pourcentage de l'eau de rétention spécifique, nous pouvons calculer le "specifique yield", correspondant à la porosité effective par cette formule :

$$Y = I00 \left(\frac{y}{v}\right)$$

Dans laquelle :

Y = specifique yield = porosité effective

y = volume total de l'eau pompé

v = volume solide.

Suivant l'expression d'Allen Hazen, cette porosité effective est égale à la différence entre la porosité totale et le pourcentage de porosité occupée par l'eau de rétention spécifique :

$$m_e = m - R$$

Les valeurs de m_e sont comprises entre I4,04 et 23,04% pour les sables, et de l'ordre de 24,32 quand il s'agit de silt et d'argile. Comme on voit sur la planche n°7, le pourcentage d'humidité n'est pas égal à la porosité totale, c'est pourquoi, nous avons prélevé des échantillons à partir du 4Ième jour d'essai de pompage, ce qui nous présente une

désaturation relative pour l'aquifère.

Nous avons porté sur le tableau n° 3 tous les résultats pratiques de cette étude.

4°) Perméabilité

Nous avons mesuré la perméabilité des échantillons provenant du sondage creusé à la tarière à une profondeur de 9,30 m, à l'aide d'un perméamètre à charge constante.

Pour les 26 échantillons étudiés, le coefficient de Darcy variait très fréquemment et oscillait entre $2,2.10^{-5}$ et $9,7.10^{-4}$ $m^3/s/m^2$ pour les niveaux sableux et était de $8,5.10^{-7}$ pour la lentille argileuse, située entre 6,50 et 7 mètres.

Dans l'ensemble jusqu'à 6,5 m de profondeur nous avons des niveaux plus perméables dont les coefficients de Darcy sont compris entre 4.10^{-6} et 10^{-3} $m^3/s/m^2$.

Entre 7 mètres de profondeur et 9,30 mètres, K varie entre $2,8.10^{-5}$ et $1,5.10^{-4}$ $m^3/s/m^2$

T A B L E A U N° 3

R = capacité de rétention spécifique en % du poids de terre sèche

R'= " " " " en % volume = (microporosité)

m = porosité totale en % volume

m_e= " " " effective = (eau de gravité en % du volume)

H_V= humidité volumique en % par la méthode de séchage

K = coefficient de Darcy en $l/sec/m^2$

Profondeur en mètre	Description de l'échantillon	R	R'	m	m_e	H_V	K	e.de rét. / e.degrav.	silt+ argile %
0,00 - 0,50	terre meuble	9,0	I4,40	27,5	I3,I0	I7,43	$I,I5.IO^{-I}$	I,I0	
0,50 - I,00	sable et gravier	6,2	9,92	24	I4,08	II,98	$5,25.IO^{-I}$	0,70	
I,00 - I,30	" grains arrond.	6,3	I0,00	28	I8,00	I2,70	$I,37.IO^{-I}$	0,55	
I,30 - I,50	" marron	5,4	8,64	30	2I,36	I2,60	$9,76.IO^{-I}$	0,40	
I,50 - 2,30	" aliotique	4,5	7,20	29	2I,7	II,43	$I,63.IO^{-I}$	0,33	
2,30 - 2,80	" marron fin	4,2	6,72	28	2I,28	I2,22	$2,02.IO^{-I}$	0,3I	0,40
2,80 - 3,00	" jaune fin	5,9	9,44	30	20,56	I4,24	$3,8I.IO^{-2}$	0,46	
3,00 - 3,30	" beige très fin	7,3	II,68	26	I4,32	I5,68	$2,65.IO^{-I}$	0,8I	
3,30 - 3,80	" marron fluviat.	4,7	7,52	28	20,48	II,I6	$I,69.IO^{-I}$	0,36	
3,80 - 4,30	" marron	4,I	6,56	28	2I,44	9,I3	$I,57.IO^{-I}$	0,30	0,25
4,30 - 4,80	" marron	4,8	7,68	30	22,32	9,64	$I,28.IO^{-I}$	0,37	
4,80 - 5,00	" marron	4,3	6,88	30	23,I2	9,00	$8,88.IO^{-I}$	0,29	0,I0
5,00 - 5,60	" beige fin	6,6	I0,56	32	2I,44	II,00	$I,9I.IO^{-I}$	0,50	
5,60 - 6,00	" beige très fin	5,7	9,I2	33	23,88	I3,I4	$4,02.IO^{-2}$	0,38	0,25
6,00 - 6,25	" jaune fluviat.	6,3	I0,00	34	24	I2,28	$2,4I.IO^{-I}$	0,4I	0,30
6,25 - 6,50	" marron	7,I	II,36	33	2I,64	I5,I0	$I,39.IO^{-I}$	0,52	0,85
6,50 - 6,75	silt & argile gris	I5,I	24,I6	39	II,84	23,70	$8,5I.IO^{-4}$	0,38	I5,30
6,75 - 7,00	silt " " "	II,I	I7,76	36	I8,24	24,32		0,34	I5,30
7,00 - 7,25	sable jaune	5,7	9,I2	35	25,88	I5,00	$8,08.IO^{-2}$	0,35	2,35
7,25 - 7,50	" jaune fin	5,6	8,96	32	23,04	I3,59	$I,39.IO^{-2}$	0,38	I,60
7,50 - 7,75	" beige fin	5,6	8,96	3I	22,04	I4,I4	$5,92.IO^{-2}$	0,40	I,80
7,75 - 8,00	" gris	6,0	9,60	32	22,4	I3,00	$7,43.IO^{-2}$	0,43	I,50
8,00 - 8,37	" beige fin	6,4	I0,24	32	2I,76	I7,93	$5,72.IO^{-2}$	0,29	I,60
8,37 - 8,62	" beige	8,2	I3,I2	34	20,88	20,09	$2,85.IO^{-2}$	0,62	I,45
8,62 - 9,00	" beige très fin	5,8	9,28	33	23,72	22,22	$2,20.IO^{-2}$	0,39	3,00
9,00 - 9,30	" beige fin	6,4	I0,24	3I	20,76	22,29	$I,53.IO^{-I}$	0,49	I,45

N.B. La capacité de rétention spécifique en % du volume ou "microporosité" est obtenue en multipliant la capacité de rétention en poids par la densité apparente du sable. Nous avons adopter une valeur moyenne pour la densité apparente : I,60.

5°) Humidité - Profils hydriques

Le pourcentage d'humidité de 94 échantillons a été déterminé après séchage de ceux-ci à l'étude. Les résultats sont indiqués dans l'annexe B - Les profils hydriques correspondant sont représentés sur les plants n° 7 à 13.

Les prélèvements ont été faits dans la deuxième moitié du mois de mai pour les profils de 1 à 6 et à la fin de décembre pour celui du n° A. Nous voyons sur ces profils que le pourcentage d'humidité ne correspond pas parfaitement au pourcentage de porosité totale, car au moment du prélèvement des échantillons concernant les profils n° 1 à 6, le temps était presque sec, coïncidant avec le début de la saison d'étiage et pour le profil du n° A nous étions au cours du 41 ème jour d'un essai de pompage.

De telle sorte, l'aquifère n'était pas tout à fait saturée. Nous interprêtrons ensuite le rôle de la lentille argileuse locale et la frange capillaire pour cette nappe. Naturellement quant au rôle de l'humidité dans le sol, nous en parlerons dans la 3 ème partie de cette thèse, concernant la sonde à Neutrons.

a) Lentille argileuse locale de la nappe :

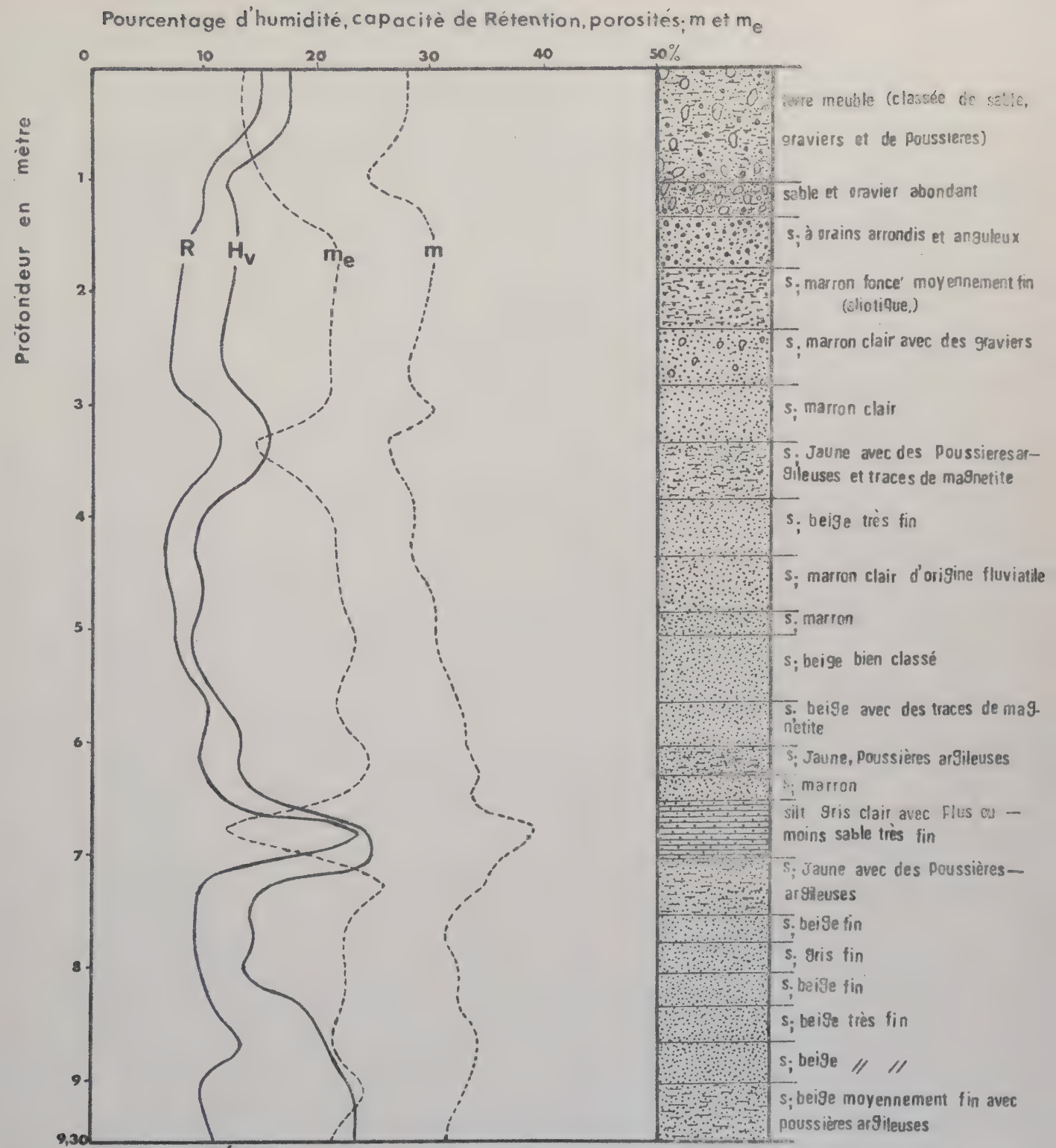
A l'aide du profil hydrique n° A (car il atteint une profondeur de 9,30 m) nous pouvons voir que le pourcentage d'humidité d'un milieu est influencé par la porosité totale de ce milieu. Mais seule la porosité effective du milieu laisse s'égoutter l'eau. Par exemple, la lentille argileuse de la nappe que nous avons étudiée correspondant à une profondeur égale à 6,5 - 7 m., à une porosité totale comprise entre 36 % et 39 %, donc elle renferme l'humidité maximum de l'aquifère et également la capacité maximum de rétention spécifique. Mais la porosité effective de cette formation qui correspond à l'eau qui peut s'égoutter des pores selon la loi de gravité n'obtient pas le pourcentage maximum.

Autrement dit, en ce qui concerne cette profondeur nous avons sur le profil hydrique n° A, trois pics majeurs représentant le pourcentage maximum de porosité totale, d'humidité et de capacité de rétention spécifique, mais nous n'avons pas ailleurs un pourcentage maximum correspondant à la porosité effective.

D'autre part, nous constatons que la porosité effective et la rétention spécifique fonctionnent à l'inverse l'une de l'autre, ce qui

PROFIL HYDRIQUE· NO·A

Pl.7



COORDONNÉES LAMBERT: X=368,05. Y=28276. Z=21,5 m N.G.F

CAPACITÉ DE RÉTENTION SPÉCIFIQE=R

HUMIDITÉ VOLUMIQUE=H_v

POROSITÉ EFFECTIVE=m_e

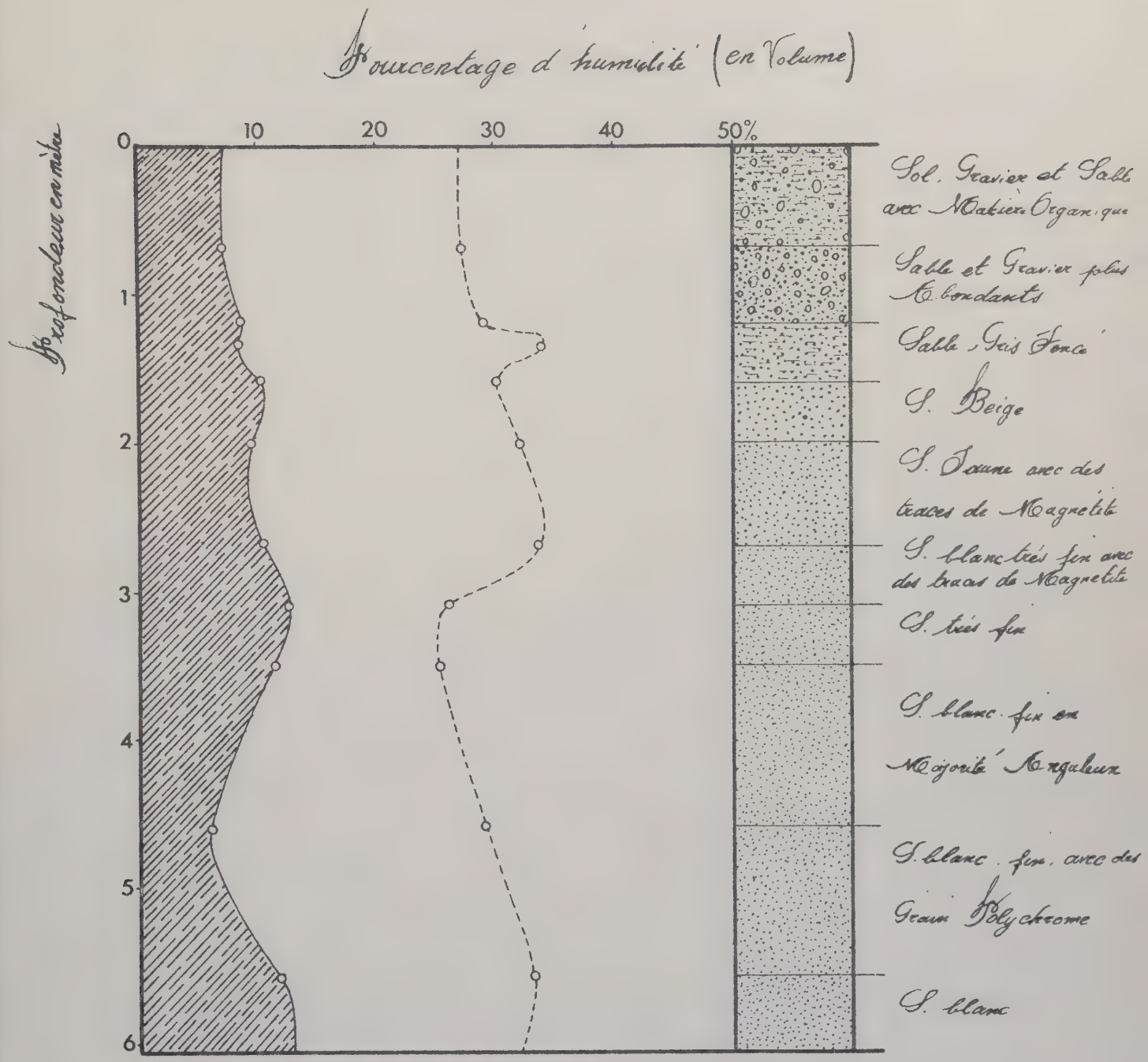
POROSITÉ TOTALE=m

NIVEAU PIÉZOMÈTRIQUE:9,58. le 22–11–1965.

FRANGE CAPILLAIRE:5,30 m

Date du Prélèvement: 31ème Jour de PomPag

PROFIL HYDRIQUE . NO 1



COORDONNÉES LAMBERT : X=368,05. Y=282,76. Z=21,5. m·N·G·F

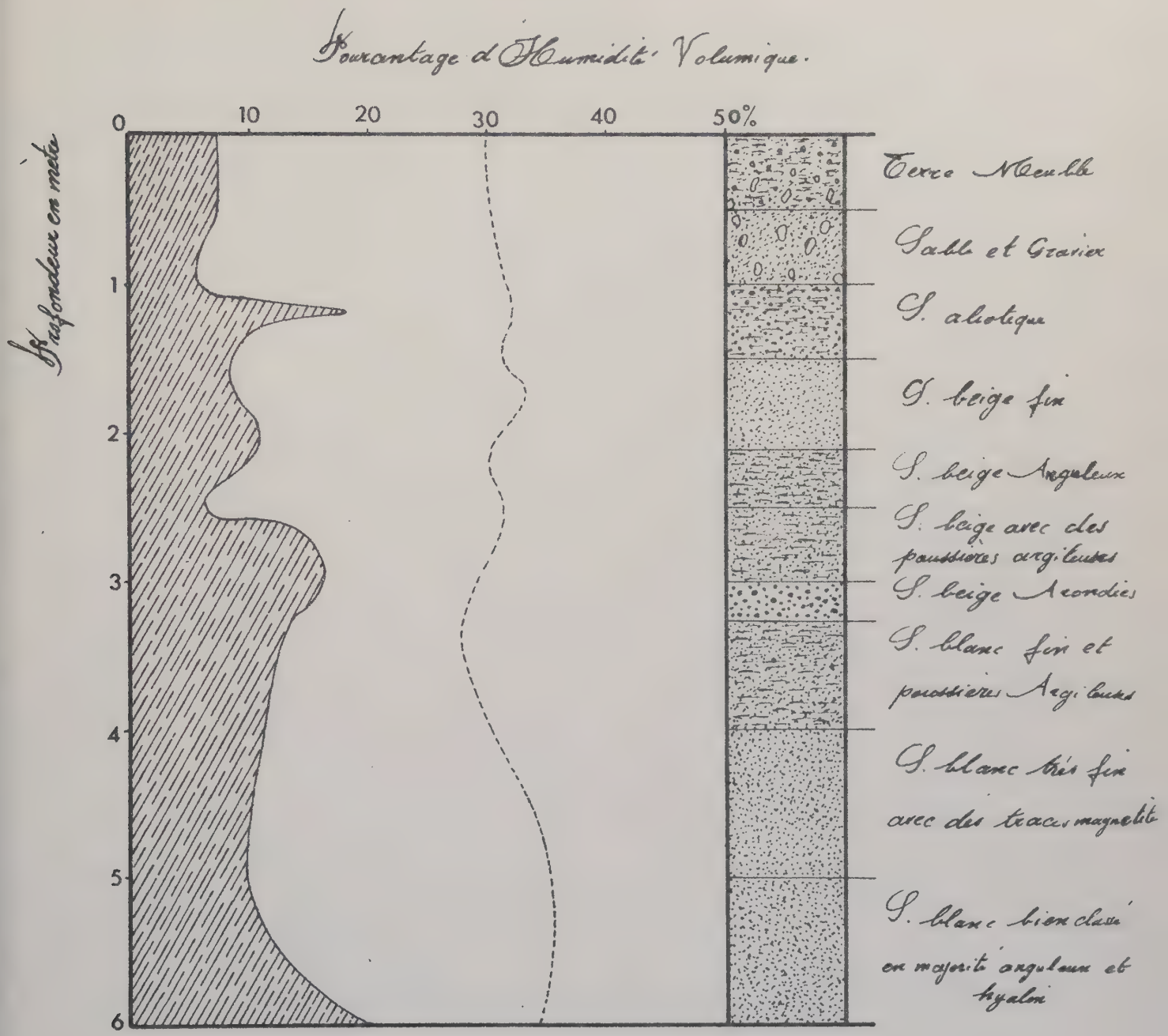
VÉGÉTATION : Prairie.

NIVEAU PIÉZOMÈTRIQUE: 6,02 m le 17-5-1965.

FRANGE CAPILLAIRE : 5,30. m

POROSITÉ TOTALE : En Pointillé.

PROFIL HYDRIQUE · N0·2



COORDONNÉES LAMBERT: X=368,05. Y=282,76. Z=21,5. m·N·G·F

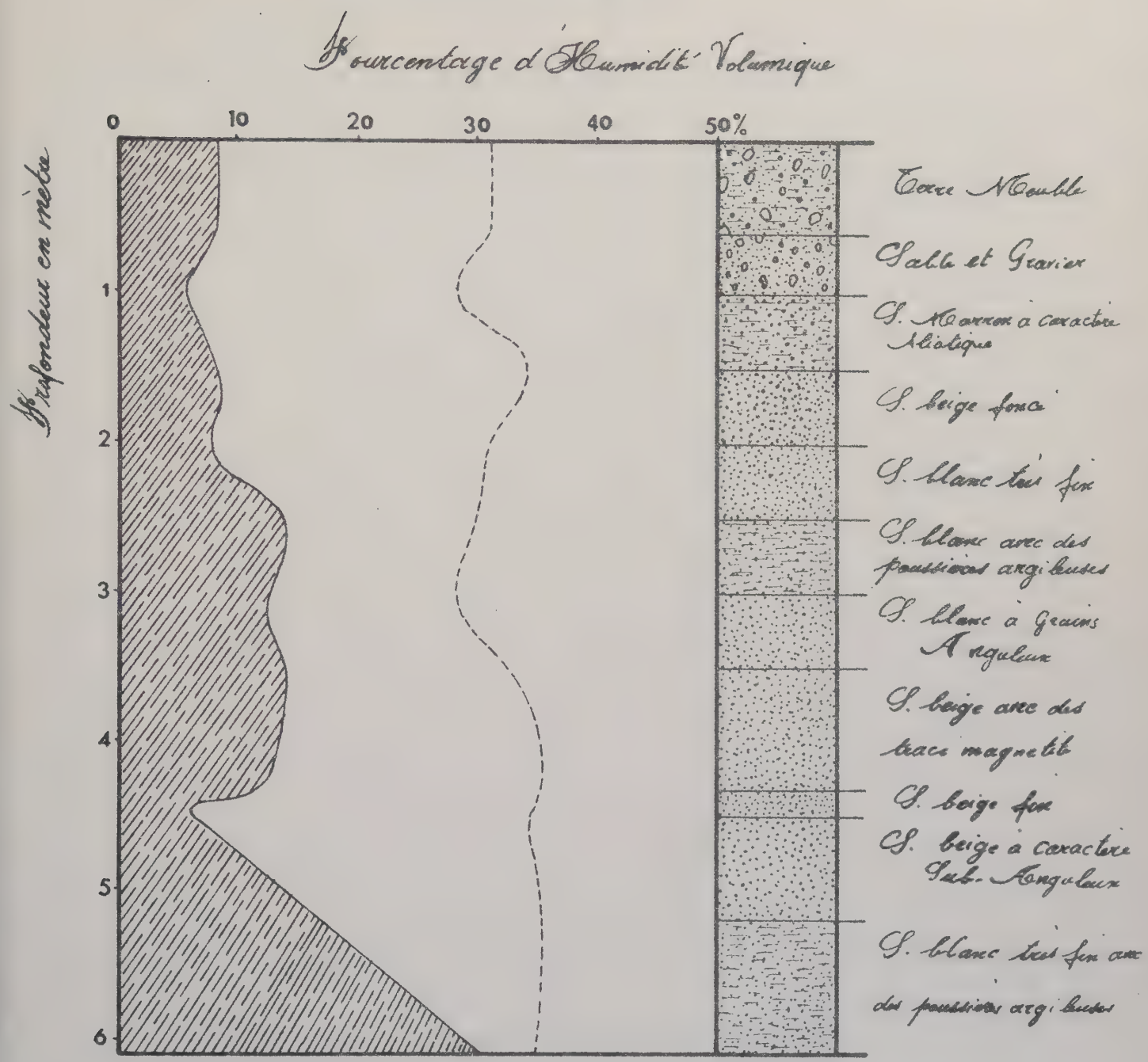
NIVEAU PIÉZOMÈTRIQUE: 6,01 m le 18-5-1965.

FRANGE CAPILLAIRE: 5,30 m

POROSITÉ TOTALE: En Pointillé.

VÉGÉTATION: Prairie.

PROFIL HYDRIQUE · N0·3



Coordonnées Lambert ; X = 386,05. Y = 282,76.

N·P : 6,11 m · le 27-5-1965.

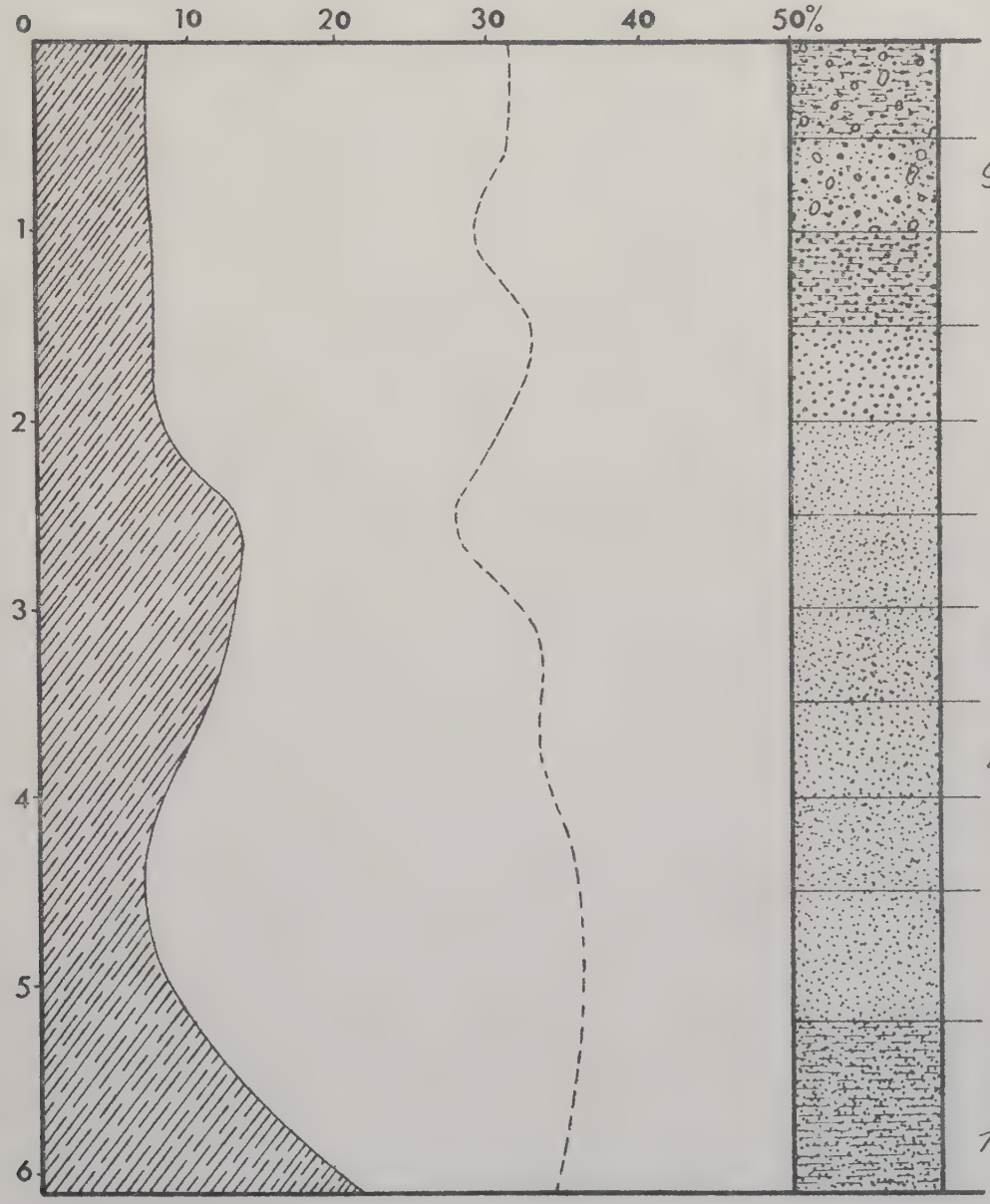
F·C : 5,30 m

m : En Pointillé.

Végétation : Prairie.

PROFIL HYDRIQUE· N0·4

Pourcentage d'Humidité (en Volume)



Coordonnées: X=3G,26. Y=49G,79

N·P : 6,12. m· le 27–5–1965.

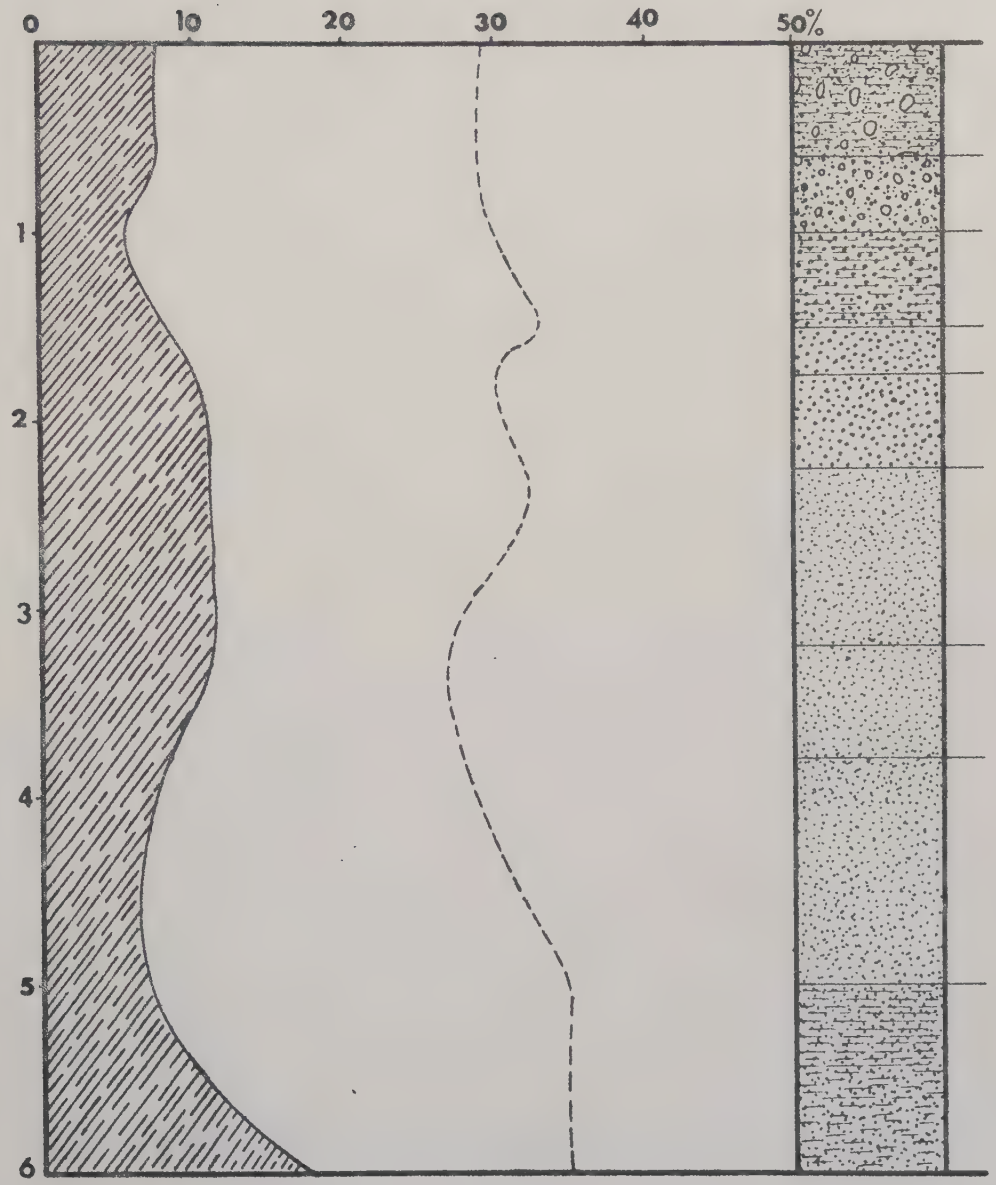
F·C : 5,3o m

m : En Pointillé

VÉGÉTATION : Prairie.

PROFIL HYDRIQUE · N0·5

Pourcentage d'Humidité en (Volume)



Coordonnées : X=3G,26 Y=49G,79

N·P : 6,05 m le 28–5–1965

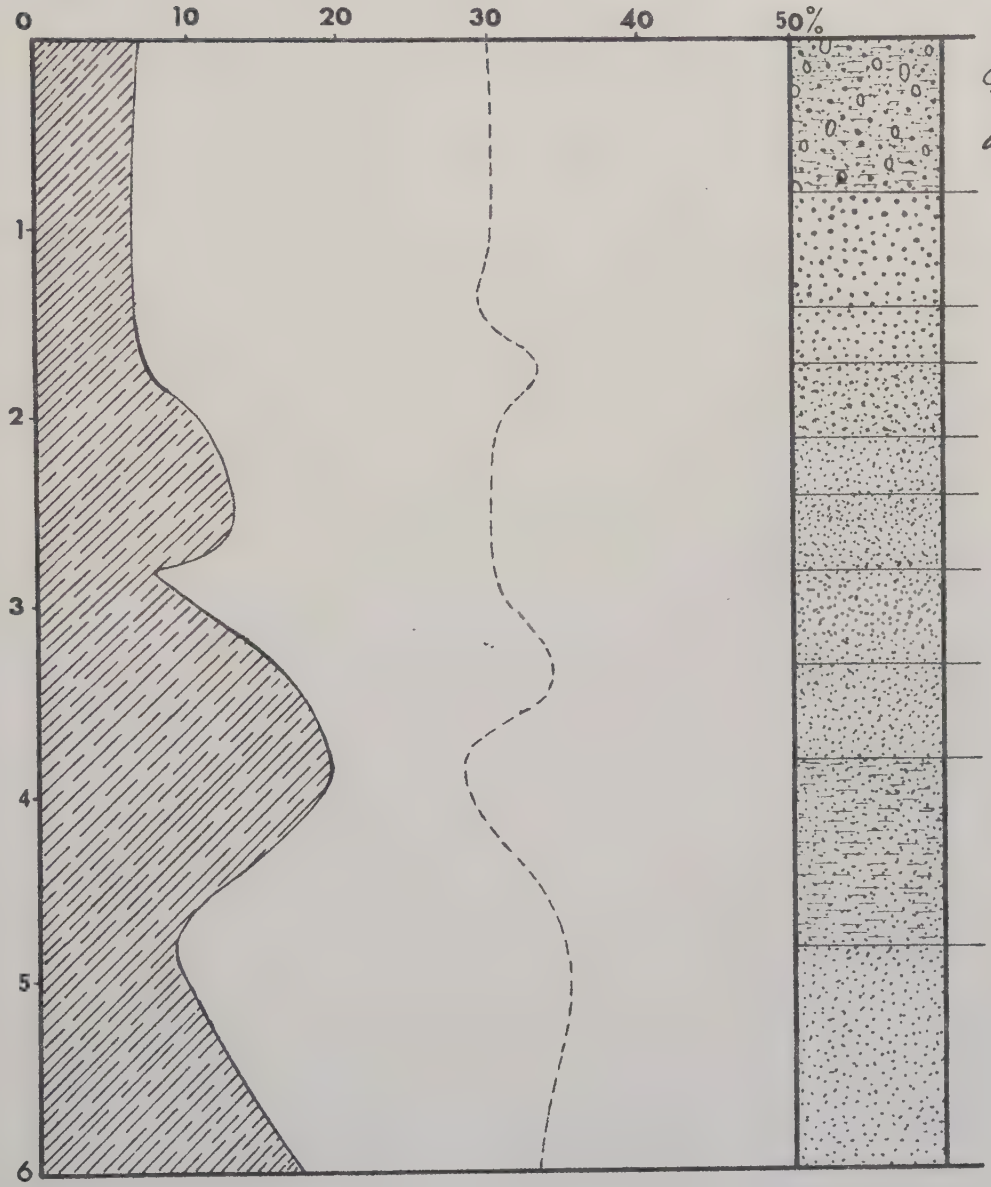
F·C : 5,30 m

m : En Pointillé.

VÉGÉTATION : Prairie.

PROFIL HYDRIQUE · N0·6

Pourcentage d'Humidité Volumique.



Coordonnées: X=36,26 Y=49,79

N·P :6,05.m· le 28 – 5 – 1965.

F·C :5,30 m

m : En Pointillé.

VÉGÉTATION. Prairie

veut dire que plus la capacité de rétention spécifique augmente, plus il se produit une diminution de la porosité effective et de l'eau de gravité.

b/ La frange capillaire :

Le niveau piézomètrique de la nappe en question varie pendant les périodes de crue et d'étiage. En principe au moment de l'étiage ce niveau atteint la couche silto-argileuse située au voisinage de la base de la dite frange capillaire. Tandis qu'à la saison de crue ce niveau même passe au-dessus de la couche silto-argileuse et s'installe au-dessus de la base de la frange capillaire (voir fluctuation de la nappe, chapitre 2 de la 2ème partie). Donc la frange capillaire varie en fonction du temps et de l'alimentation de la nappe. D'autre part, la partie supérieure de celle-ci ne se fixe pas toujours et elle varie à cause de l'évapotranspiration de la nappe et de la quantité de pluie qui tombe.

Signalons que la frange capillaire joue un rôle important lors de la descente de la nappe, car lorsque l'aquifère devient désaturé (à cause du pompage de la nappe), c'est l'eau occupant cette partie qui intervient comme l'égouttement de la surface de suintement, et dans ce cas il se forme un débit retardé.

Nous avons indiqué l'épaisseur de la frange capillaire sur chaque profil par les lettres (F.C). Cette épaisseur a été déterminée en mesurantla distance entre le niveau piézomètrique de la nappe et le début de l'accroissement rapide de l'humidité du sol correspondant au sommet de la frange capillaire, nous mettons en évidence que le sommet de la frange capillaire était au mois de mai presque de 0,80m au dessous de la surface du sol et au mois de décembre elle remonte jusqu'à 0,50m par rapport au sol. En effet, nous obtenons approximativement pour les profils n°I à 6 une moyenne de 5,30m pour l'épaisseur de la frange capillaire et pour celui du n°A de 6, m correspondant au mois de décembre.

- RESUME ET RESULTAT -

Nous avons déjà dit dans le chapitre II que le terrain où se trouve la nappe que nous étudions est une terrasse alluviale, liée à celle de la Garonne. Par conséquent les sables que renferme cette nappe devraient être d'origine fluviatile donc avec des grains anguleux ou sub-anguleux et luisants. Mais l'observation de nos 94 échantillons, au binoculaire nous montre que les grains sont en majorité arrondis et dépolis, à morphologie de caractère éolien.

D'une part, le coefficient d'uniformité comme nous l'avons vu pour nos échantillons n'était pas près de l'unité. D'autre part l'étude lithologique du forage et des piézomètres nous a fait apercevoir une superposition hétérogène formée de sable et gravier, de sable aliotique, de sable fin, de silt et argile correspondant à une lentille argileuse, de sable grossier, de graviers et enfin de gros galets et d'argile confirmant le changement du régime du cours d'eau soit à l'échelle saisonnière, soit à l'échelle des temps géologiques. Donc nous pourrons dire qu'au cours de cette évolution il y a eu un remaniement assez profond dans ces sédiments qui a donné cette hétérogénéité entre les formations.

D'après la comparaison des courbes cumulatives nous apercevons très facilement que tous les échantillons ont leurs courbes cumulatives très semblables et bien redressées, sauf celle du n°7 correspondant à la profondeur de 6,50 à 7,00m., car elle concerne une lentille silt argileuse au sein du sable sans qu'il soit possible souvent de préciser sa puissance et son extension. Cette courbe est plus étalée et déviée en forme de $\int$ avec un coefficient d'uniformité très grand, une capacité de rétention très élevée et une porosité totale maximum et une perméabilité pratiquement nulle.

Donc nous allons dire que cette lentille argileuse constitue le toit de l'aquifère. D'après la coupe lithologique du forage, nous savons qu'à partir de I2,25 jusqu'à I6m dans cette nappe il se situe un

passage argileux, imperméable, qui forme la base de l'aquifère. De plus il y a une formation aliotique entre I et 2m. dans cette nappe, sans qu'elle se comporte comme un horizon imperméable. Cependant cette formation est moins perméable que le sable, ce qui devrait ralentir la descente des eaux d'infiltration.

Les essais de pompage que nous avons faits, nous ont permis de constater que le rabattement maximum pour un essai régulier même de 95 jours est égal à 3,34m pour le piézomètre n°I et pour les autres piézomètres encore inférieur à ce chiffre et à partir de ce rabattement le niveau d'eau dans la nappe s'est mis à remonter. Donc nous pouvons dire que l'aquifère de cette nappe ayant une épaisseur égale à 5,25m, comprend deux partie (comprise entre 7 et I0,40m) qui suit une désaturation rapide et irrégulière lors du pompage de la nappe, et la deuxième partie qui a une profondeur comprise entre I0,40 et I2,25m, composée de formations grossières et représentant un niveau plus stable et plus productif de la nappe.

-=-=-=-=-

D E U X I E M E P A R T I E

C H A P I T R E - I

HYDRAULIQUE SOUTERRAINE DE LA NAPPE PLIO-QUATERNAIRE

-=-=-=-=-

- RESUME ET INTERPRETATION DES PARAMETRES DU TERRAIN AQUIFERE -

Les essais de pompage en régime transitoire occupent aujourd'hui une place importante parmi les techniques de recherche hydrogéologique et les méthodes d'évaluation des ressources en eau souterraine.

En effet, il s'avère de plus en plus nécessaire de parvenir à une connaissance quantitative des disponibilités en eau. Cependant, la valeur des résultats auxquels conduisent ces essais dépend entièrement de la qualité de leur exécution et de la précision des mesures faites.

C'est dans cet intérêt, qu'au cours de six essais de pompage faits avec toute l'attention requise, nous avons appliqué six méthodes hydrauliques, pour étudier les phénomènes qui se manifestaient dans la nappe. Tous les résultats de ces travaux sont présentés dans les pages suivantes.

I/ Légende des conventions employées.

Δ_m = rabattement mesuré dans le puits (en mètre).
Δ_c = rabattement corrigé (en mètre).
Δ/Q = rabattement spécifique (en $m/m^3/s$).
Q = débit (en m^3/s).
R = distance du puits d'observation au puits de pompage (en mètre), R = rayon de la crépine dans l'ouvrage de captage (en mètre)

t = temps (en secondes)
S = coefficient d'emmagasinement (en %)
T = transmissivité (en m3/s/m) et K = perméabilité (en m3/s/m2).
H = ζ = épaisseur de l'aquifère captée (en mètre).
u = fonction du puits
m = porosité (en %)
γ = poids spécifique de l'eau
β = coefficient de compressibilité de l'eau
α = coefficient de compressibilité de l'aquifère
P = piésomètre.

Le quotient de piézotransmissivité T/S.

Le rapport T/S est appelé quotient de piézotransmissivité ; dans lequel T exprime la transmissivité et S le coefficient d'emmagasinement. Ce quotient agit donc en sens inverse sur la vitesse de baisse du niveau et la vitesse de stabilisation du cône de dépression. Le rayon d'influence n'est fonction que du temps et du rapport T/S. La grandeur de ce rapport est déterminée par la grandeur de T et de S dans le terrain aquifère. On peut donc dire que l'évolution du cône de dépression vers la stabilisation est d'autant plus rapide que l'emmagasinement est petit ; donc la transmissivité sera grande. En effet le ralentissement de la vitesse de baisse de niveau piézomètrique est fonction inverse de l'emmagasinement et dépend directement de la transmissivité, autrement dit il est fonction du rapport T/S. Plus T/S est petit en fonction du temps, plus la stabilisation du rabattement est rapide. Alors le cône de dépression se creuse davantage, s'étend moins et le rayon d'influence devient plus petit. Par contre dans le cas où T/S est plus grand nous notons une stabilisation plus lente ; le cône de dépression s'étend plus, devient moins convexe ou atteint moins de profondeur.

- REMARQUE -

Plus le rabattement est grand pour rapport à l'épaisseur de l'aquifère (c'est-à-dire dans le cas où $\Delta s > I/10H$) plus la vitesse et la perte

d'énergie seront grandes, donc il nous faudra modifier la valeur de Δ par la formule de correction de la manière suivante : (cas des nappes libres).

$$\Delta \text{ corrigé} = \Delta \text{ mesuré} - \frac{(\Delta \text{ mesuré})^2}{2\,H}$$

En effet nous avons corrigé le rabattement pour tous les essais de pompage que nous avons exécutés, car nous avions toujours :

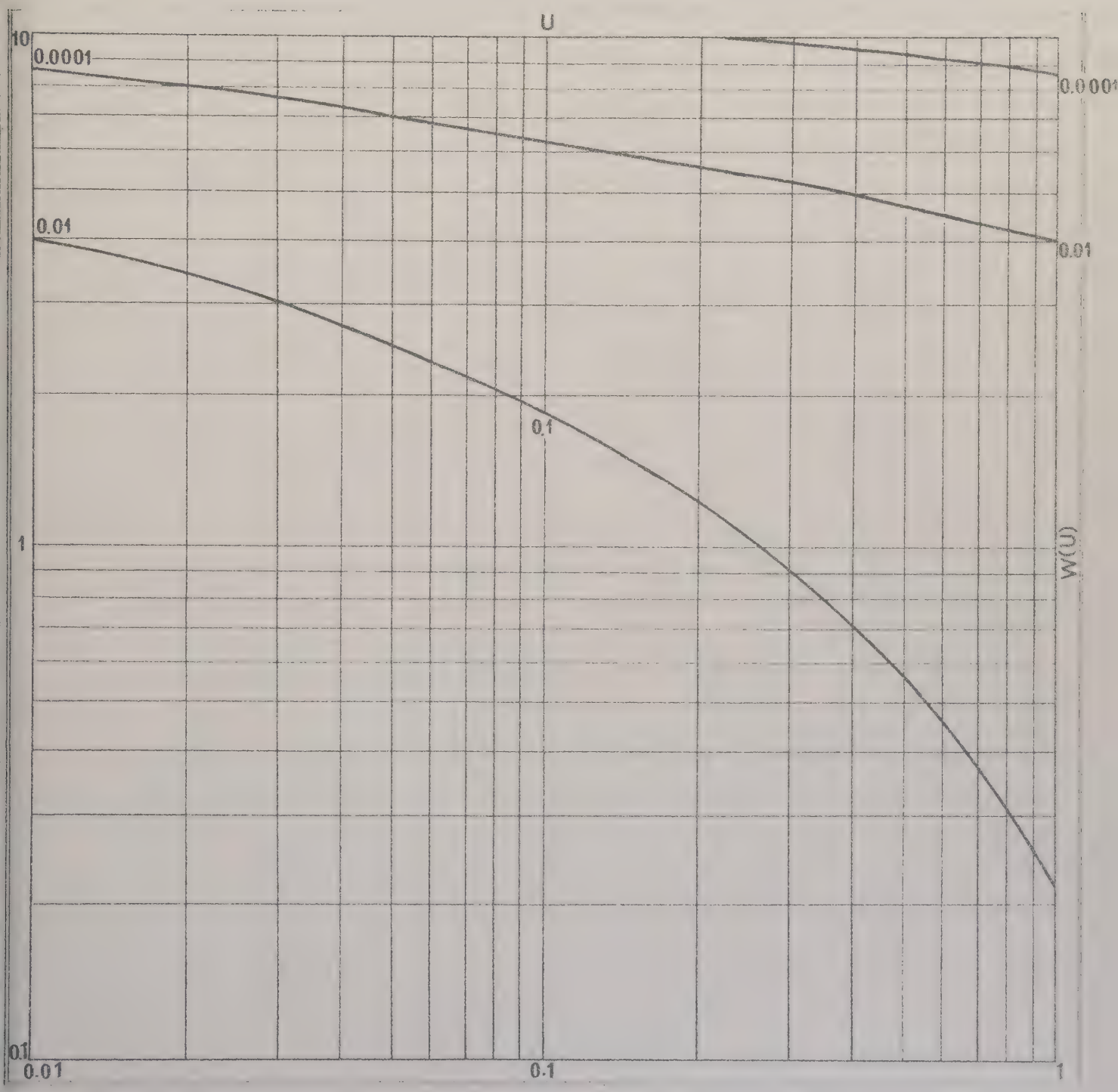
$$\left[\Delta_m > I/10\ H\right] .$$

Rappelons qu'au cours des six essais de pompage que nous avons effectués, nous avons utilisé six méthodes :

Au cours des 6 essais de pompage nous avons calculé la transmissivité et le coefficient d'emmagasinement et la perméabilité en utilisant les méthodes :

I : Méthode de Thois
2 : Méthode de Jacob
3 : Méthode de Theis pour la remontée
4 : Méthode de Houpeurt modifiée par Pouchan
5 . Méthode de Dupuit
6 : Méthode de Thiem

COURBE DE REFERENCE DE THEIS



C H A P I T R E - II

ETUDE DES ESSAIS DE POMPAGE ET INTERPRETATION DES COURBES

-=-=-=-

- PREMIER ESSAI DE POMPAGE - Date d'exécution : 7 juin 1964

Nous avons effectué le premier essai de pompage pendant 2h 5mm, à débit constant $Q = 0,83.10^{-3}$ m^3/sec, et nous avons mesuré le rabattement dans les P_I et P_2 en fonction du temps.

I°/ Méthode exacte de THEIS : Pl.I5.

Sur un graphique à coordonnées logarithmiques nous avons construit les courbes $\log \Delta_c = f\ (\log \frac{I}{t}\ j)$, concernant les P_I et P_2. Ensuite nous avons superposé ces courbes expérimentales à la courbe type :

$\log w(u) = f\ (\log u)$, et nous avons constaté que seules, les premières portions des courbes, traduisent le régime transitoire pur, au-delà d'une valeur de I/t = II6 pour P_I et de I/t = I95 pour P_2, les courbes expérimentales passent au-dessous de la courbe type, caractérisant l'effet d'une limite alimentée, ou d'un **égouttement.**

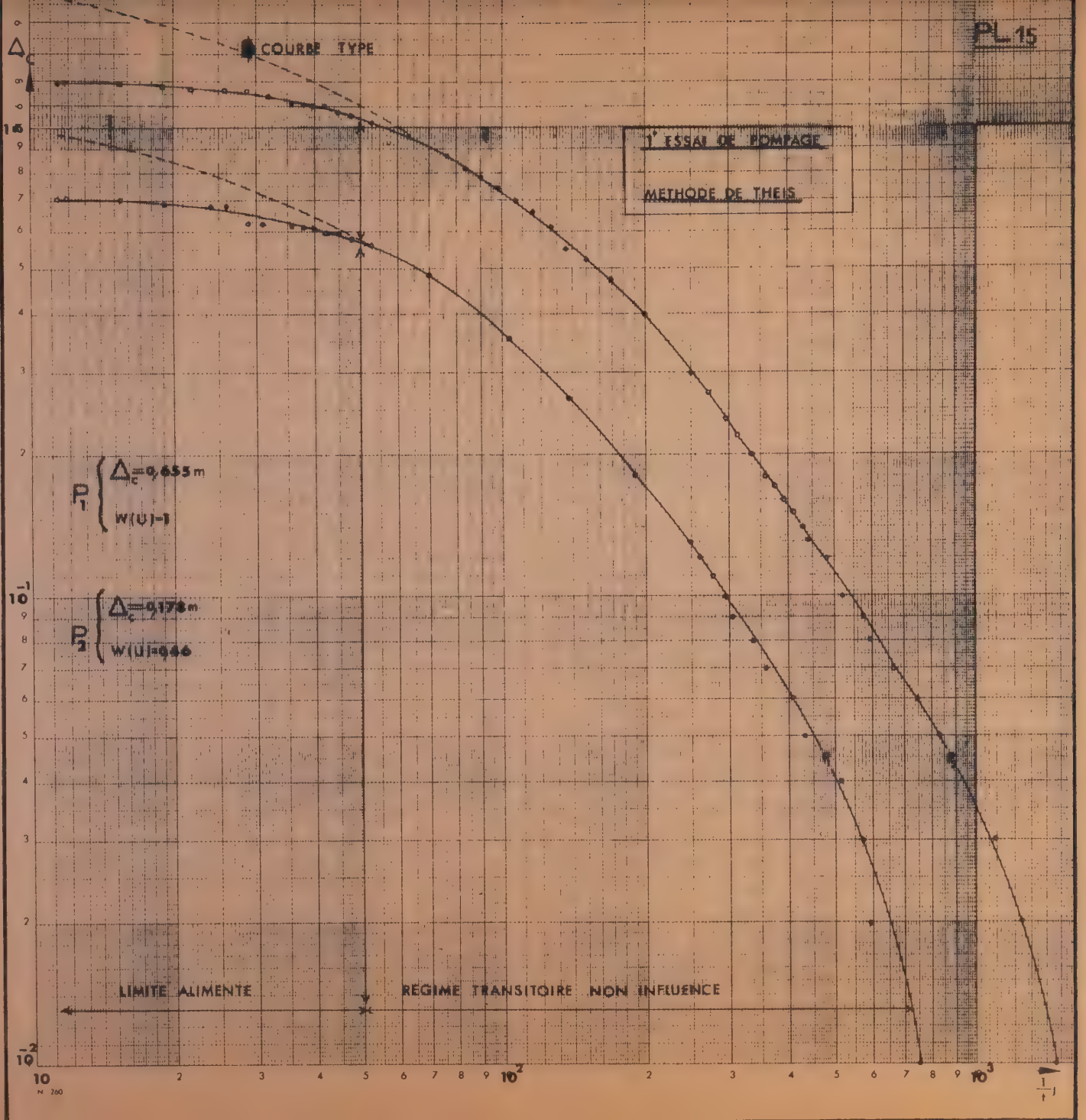
En superposant ces courbes expérimentales à la courbe de Theis, nous avons obtenu deux points communs en ce qui concerne P_I et P_2 de la manière suivante :

Pour P_I: $w\ (u) = I$ d'où $u = 0,27$ $I/t = II6j$ et $\Delta_c = 0,655m$.

Donc nous avons : $\boxed{T = I.10^{-4}\ m^3/sec/m}$ et $\boxed{S = 3,56\ \%}$

d'où R = I,5m. Sachant que la puissance de l'aquifère capté (partie crépinée) est de 4,20m, nous avons calculé la perméabilité d'ensemble :

$$\boxed{K = 2,43.10^{-5}\ m^3/sec/m^2}$$


PL 15
COURBE TYPE
1° ESSAI DE POMPAGE
METHODE DE THEIS
P1
Δc=0,655 m
W(U)=1
P2
Δc=0,178 m
W(U)=0,66
LIMITE ALIMENTE
REGIME TRANSITOIRE NON INFLUENCE

- REMARQUE -

La valeur du coefficient de Darcy peut paraître faible. Ceci est dû à des éléments imperméables qui sont en règle générale dispersés, comme les lentilles silto-argileuses au sein de l'aquifère des terrasses alluviales, dont l'étendue et l'épaisseur en principe ne sont pas appréciables.

La présence de ces éléments diminue la perméabilité du terrain. Seules quelques tranches d'aquifère en regard de la crépine sont très perméables et la perméabilité de l'ensemble diminue du fait d'une répartition désordonnée des niveaux imperméables dans les aquifères.

Pour P_2 : $w(u) = 0,46$ d'où $u = 0,60$ $I/t = I92j$ et $\Delta_c = 0,I78m$

nous avons obtenu : $\boxed{T = I,68.I0^{-4}\ m^3/sec/m}$ et $\boxed{S = 0,73\%}$

d'où $R = 5m$, et pour une même puissance de l'aquifère captée :

$$\boxed{K = 2,05.I0^{-5}\ m^3/sec/m^2}$$

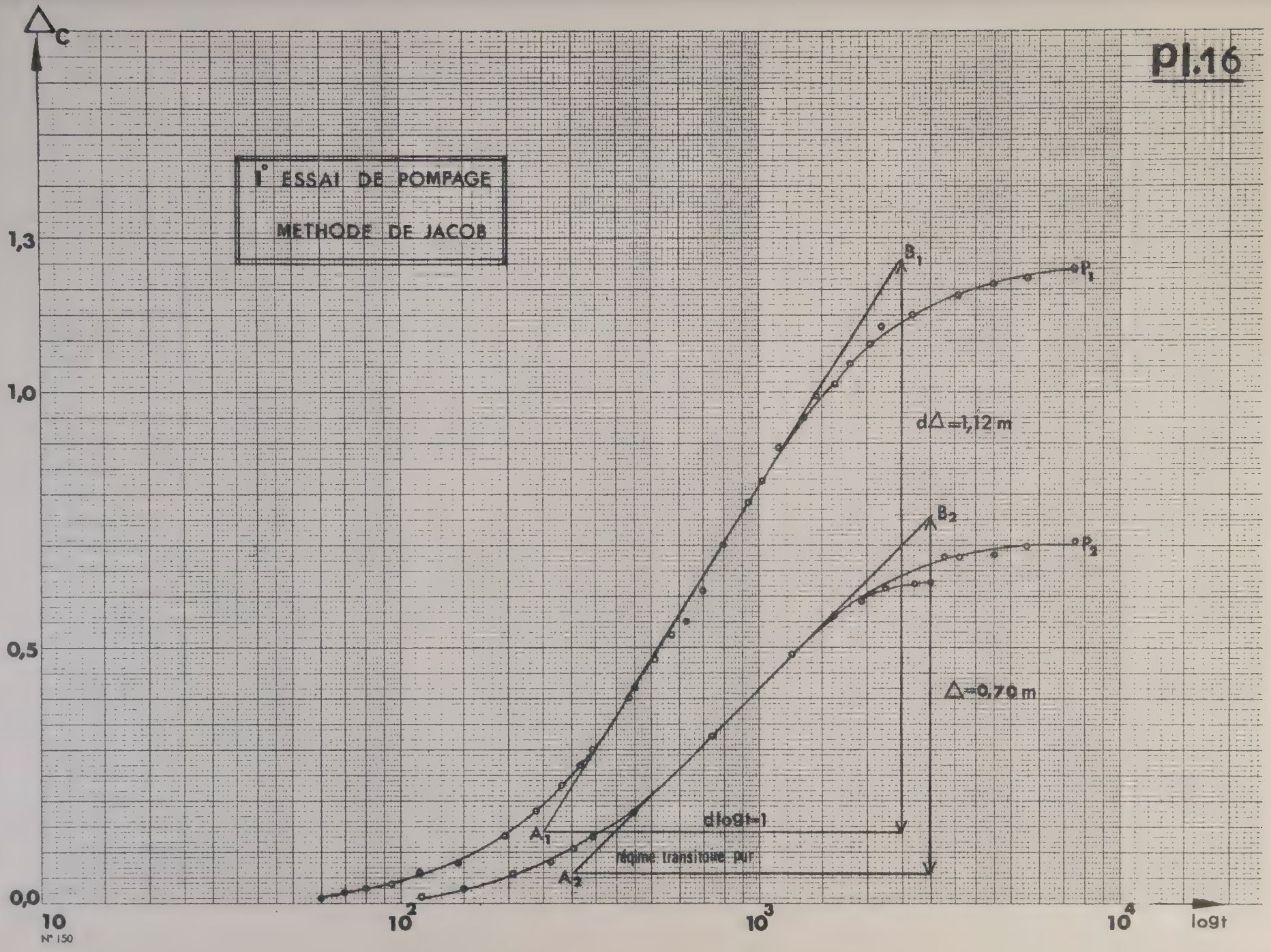
2°/ Méthode approximative de JACOB : Pl.I6

Sur un papier semi-logarithmique, nous avons porté les valeurs du temps t en secondes en abscisses logarithmiques et les valeurs Δ_c en ordonnées ; ainsi nous avons construit la courbe : $\Delta_c = f(\log t)$. Ensuite nous avons calculé T, S, K pour les P_I et P_2 à l'aide des droites $A_I B_I$ et $A_2 B_2$, traduisant l'évolution du cône de rabattement dans un régime transitoire pur de sorte que :

Pour P_I : entre les points A_I et B_I, la pente de la droite est :

$$\frac{d(\Delta_c)}{d(\log t)} = I,I2\ m.$$ on obtient ainsi :

$\boxed{T = I,36.I0^{-4}\ m^3/sec/m}$ et $\boxed{S = 2,85\ \%}$


Δc
1° ESSAI DE POMPAGE
METHODE DE JACOB
1,3
1,0
0,5
0,0
B1
P1
dΔ=1,12 m
B2
P2
Δ=0,70 m
dlogt=1
A1
A2
régime transitoire pur
10
10²
10³
10⁴
logt

N° 150

la perméabilité moyenne est : $\boxed{K = 3,24.10^{-5}\ m^3/sec/m^2}$

Pour P_2 : La pente de la droite $A_2 B_2$ est : $\frac{d(\Delta c)}{d(\log t)} = 0,70m.$

donc on a : $\boxed{T = 2,17.10^{-4}\ m^3/sec/m}$ et $\boxed{S = 0,49\ \%}$

la perméabilité moyenne est de l'ordre de $\boxed{K = 5,15.10^{-5}\ m^3/sec/m^2}$

Après 3 000 secondes de pompage, comme nous pouvons le constater sur Pl.I5, les courbes concernant P_I et P_2 s'écartent de la droite, car, à ce moment là il se manifeste, soit un effet d'égouttement, soit l'influence d'une limite alimentée.

Le pompage ayant été effectué dans une nappe phréatique alluviale et pour de telles nappes le cône de rabattement n'atteint pas une limite très vaste. En effet nous avons calculé le rayon d'action du cône de rabattement pour les valeurs moyennes de T et S concernant la nappe en question, cas où le rabattement est si faible que l'on ne peut pas le mesurer.

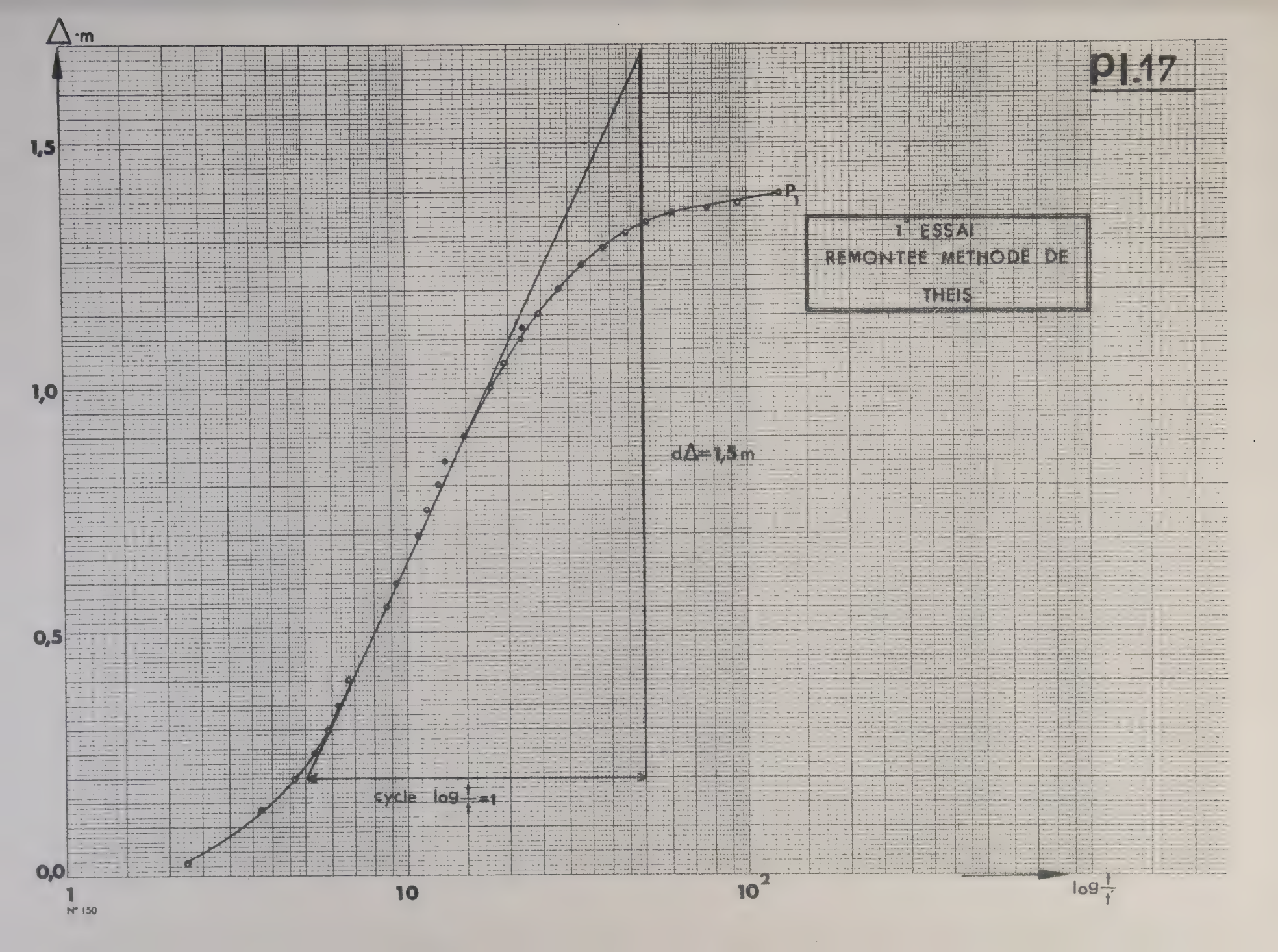
Le temps donné 3 000 secondes traduisant un état proportionnellement équilibré pour cette nappe, donc pour t = 3 000 secondes, le rayon d'influence effective est calculé par la formule :

$$R_{fe} = 1,5\sqrt{\frac{T.t}{S}} \quad \text{d'où} \quad R = 26\ m.$$

on voit que le cône de dépression dans cette nappe se creuse davantage et s'étend moins.

3°/ Remontée par la méthode de Theis. Pl.I7

Après l'arrêt du pompage, nous avons suivi la remontée du niveau d'eau dans les P_I et P_2 pendant Ih40mn, et nous avons appliqué la méthode de remontée de Theis, car l'équilibre pour notre nappe n'a pas été atteint. Etant donné qu'on pompe dans le forage et qu'on suit les mesures correspondant à la descente ou à la remontée dans les puits d'observation, le début de la remontée est influencé par l'effet parasite du remplissage du tube. Si ce phénomène n'exitait pas le débit serait effectivement


Δ·m
1,5
1,0
0,5
0,0
1
10
10²
log t/t'
P1
1° ESSAI
REMONTEE METHODE DE
THEIS
dΔ=1,5 m
cycle log t/t'=1
N° 150

PI.17

nul et la courbe de remontée donnerait une droite qui s'incurverait ensuite pour tendre asymptotiquement vers une hauteur limite. Lorsque l'approximation logarithmique est valable on doit obtenir une droite où le graphique Δ résiduel est en fonction de log t/t'. Nous avons dressé sur papier semi-log, la courbe de $d(\Delta) = f(\log t/t')$ concernant P_I à la façon suivante, on obtient selon la portion linéaire choisie de la courbe de remontée pour : $d(\log t/t') = I$ et $\Delta = I,50m$. Le débit constant du pompage ayant été de $0,83.10^{-3}$ m^3/sec, donc on obtient : $\boxed{T = I,01.10^{-4}\ m^3/sec/m}$

- DEUXIEME ESSAI DE POMPAGE - Date d'exécution : I8 octobre I964

I°/ Méthode de THEIS :

Pour un débit constant égal à $Q = 0,69.10^{-3}$ m^3/sec, le point obtenu par la superposition de la courbe expérimentale et de la courbe standard est défini par les coordonnées suivantes :

Pour P_I $w(u) = 0,36$ $u = 0,72$ $I/t\ j = 288$

$\Delta_c = 0,I9m$ $R = I,5m$

d'où $\boxed{T = I,04.10^{-4}\ m^3/sec/m}$ $\boxed{S = 3,98\%}$ $\boxed{K = 2,45.10^{-5}\ m^3/sec/m^2}$

2°/ Méthode de Jacob :

En utilisant la méthode approximative logarithmique nous avons obtenu par la portion de la portion de la courbe comprise entre 200 et 2 000 secondes, traduisant le régime transitoire non influencé à un cycle logarithmique correspondent les données suivantes : $d(\Delta_c) = 0,93$ m, ainsi :

$\boxed{T = I,3.10^{-4}\ m^3/sec/m}$ $\boxed{S = 2,6\%}$ d'où $\boxed{K = 3,09.10^{-5}\ m^3/sec/m^2}$

3°/ Remontée. Méthode de Theis.

Nous avons appliqué la méthode pour la remontée de Theis et nous avons constaté que la valeur de remontée représente une valeur

de la transmissivité plus forte que celle trouvée par la méthode exacte en descente de niveau. Il apparaît que ce n'est plus seulement la partie captée de l'aquifère qui entre en jeu, mais la hauteur totale de celle-ci.

Pour la courbe de remontée nous avons tiré pour $d(\log t') = I$ et $d(\Delta_c) = 0,70m$, le débit constant du pompage ayant été $6,9.10^{-4}$ m^3/sec, nous avons obtenu :

$$\boxed{T = 1,8.10^{-4}\ m^3/sec/m}$$

- CALCUL DE L'EPAISSEUR TOTALE DE L'AQUIFERE EN REMONTEE -

La valeur de la transmissivité de la nappe est différente de celle obtenue à la descente, cette augmentation de T en remontée peut-être due à l'épaisseur totale de l'aquifère qu'elle parvient à drainer, et à ce point de vue nous avons procédé au calcul de la totalité de l'épaisseur de l'aquifère en remontée :

$$H' = \mathcal{E}\ \frac{T_r}{T_d} \qquad \text{dans laquelle :}$$

H' : épaisseur totale de l'aquifère.
$\mathcal{E}$: épaisseur de l'aquifère captée
T_r : transmissivité en remontée
T_d : transmissivité en descente

Ainsi nous avons obtenu $H' = 4,20\ \frac{1,8.10^{-4}}{1,04.10^{-4}}$ soit $H' = 7,26m$.

ce qui est une valeur raisonnable pour cette grandeur.

Remontée : Méthode de Houpeurt, modifiée par Pouchan

De la courbe de $d\Delta = f'(\log t')$, on tire pour un cycle logarithmique $d\Delta / d\log t' = 1,09$ m., et avec un débit égal à $6,9.10^{-4}$ m^3/sec nous avons obtenu :

$$\boxed{T = 1,15.10^{-4}\ m^3/sec/m} \quad \text{et} \quad \boxed{S = 2,3\%} \quad \text{d'où } R = 1,5m.$$

- TROISIEME ESSAI DE POMPAGE - Date d'exécution : 8 février 1965

Un essai de débit $Q = 1{,}52.10^{-3}$ m^3/sec a été réalisé pour une durée de pompage égale à 3h45mn. Niveau piézomètrique dans le P_I par rapport à la margelle a été de 5,9Im.

1°/ Méthode exacte : Pl.I8

En superposant la courbe expérimentale à la courbe type nous avons constaté que les coordonnées pour le point choisi de la partie superposée sont égales à : $w(u) = 4{,}8.10^{-1}$ $u = 5{,}8.10^{-1}$

$1/t = 230{,}4$ jours $\Delta_c = 6{,}18.10^{-1}$ m.

soit : $\boxed{T = 9{,}4.10^{-5}\ m^3/sec/m}$ $\boxed{S = 3{,}63\%}$ et $\boxed{K = 2{,}24.10^{-5}\ m^3/sec/m^2}$

La superposition des courbes nous a montré encore ici la présence d'une limite perméable ou d'un phénomène d'égouttement.

2°/ Méthode de JACOB : Pl.I9

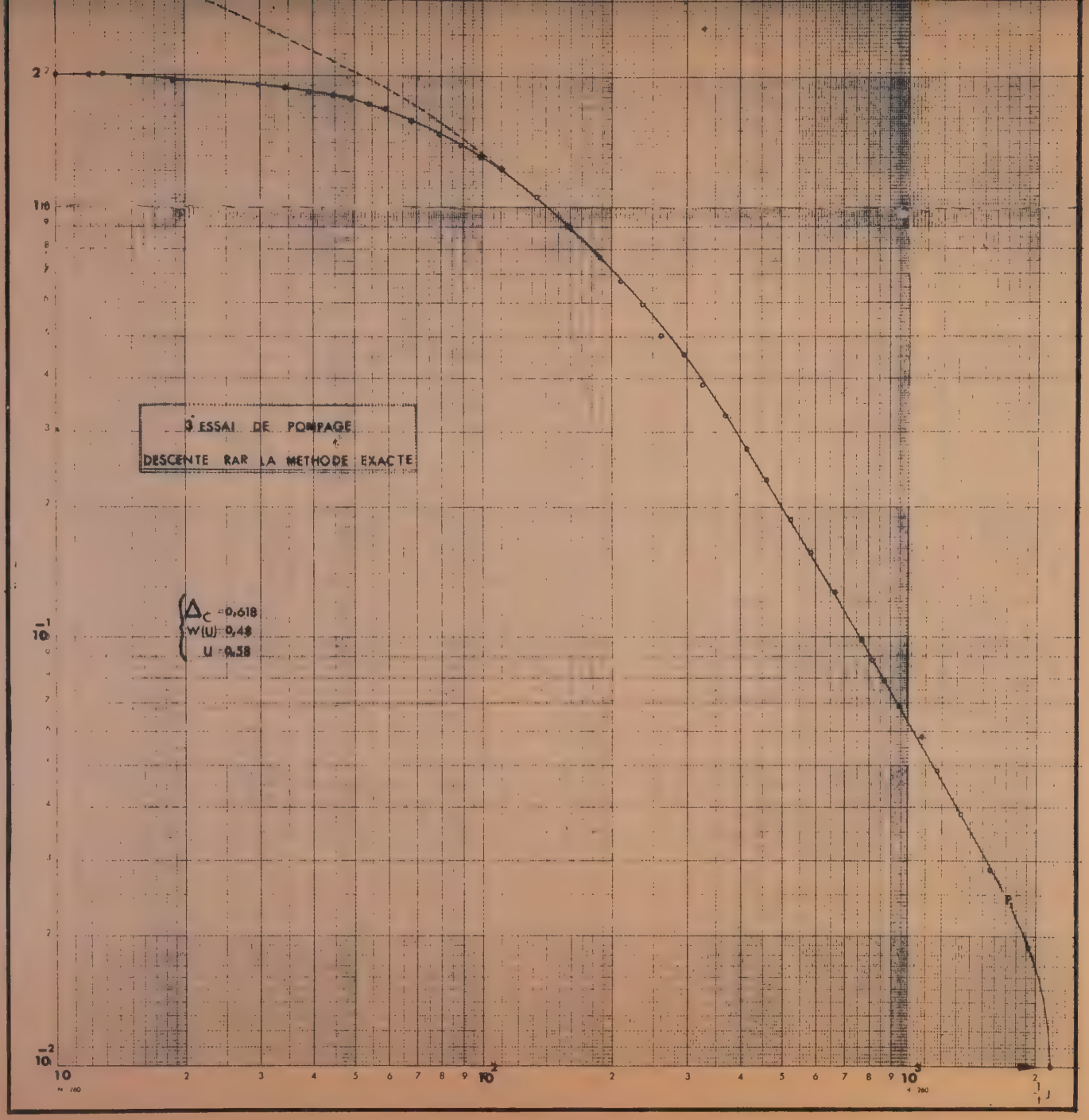
Les phénomènes décrits précédemment (concernant Pl.I6) se font sentir sur cette courbe. La deuxième portion de la courbe asymptotique avec la droite traduit le régime transitoire pur et donne pour un cycle logarithmique : $d(\Delta_c) = 1{,}93$m., ainsi :

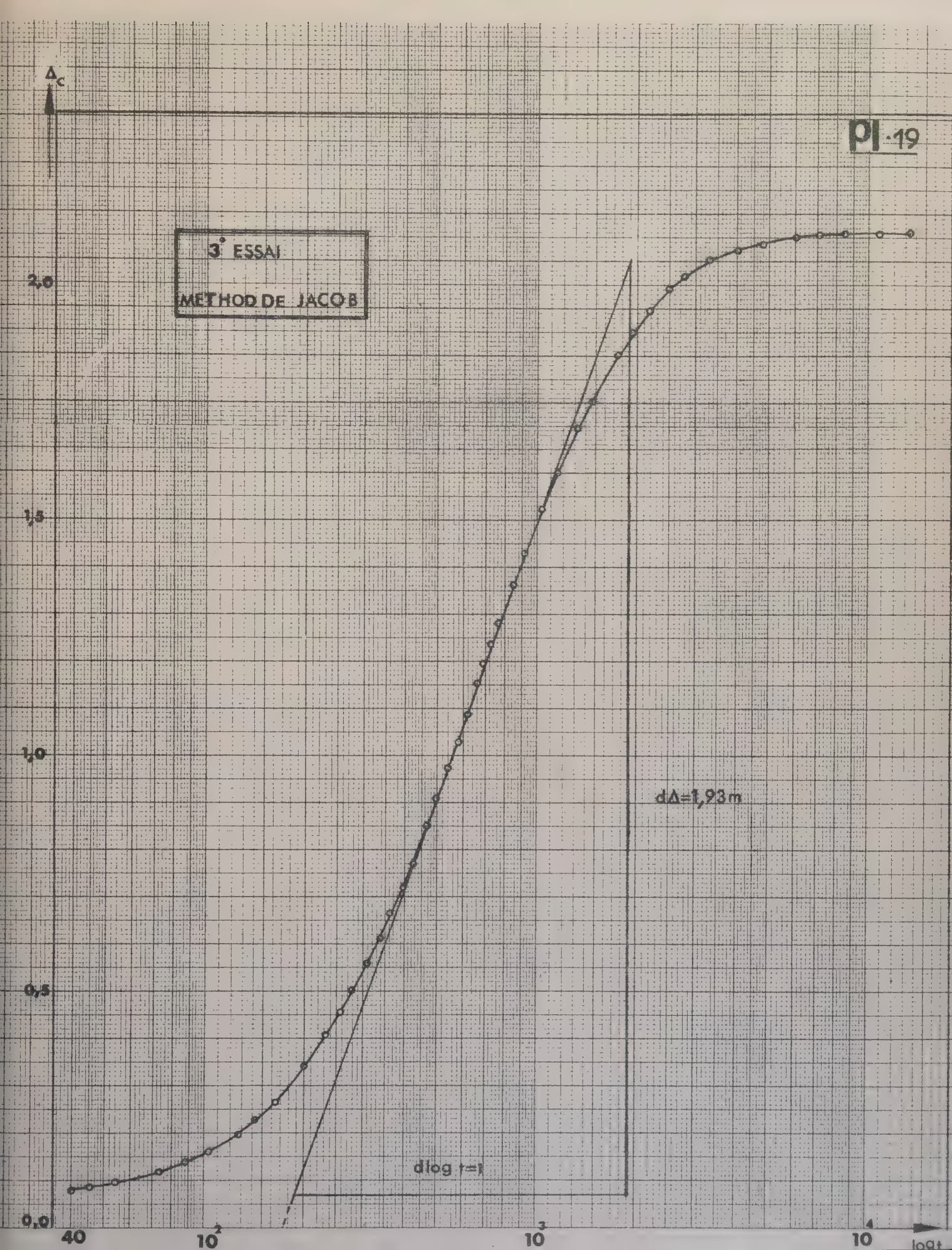
$\boxed{T = 1{,}4.10^{-4}\ m^3/sec/m}$ $\boxed{S = 2{,}75\%}$ $\boxed{K = 3{,}3.10^{-5}\ m^3/sec/m^2}$

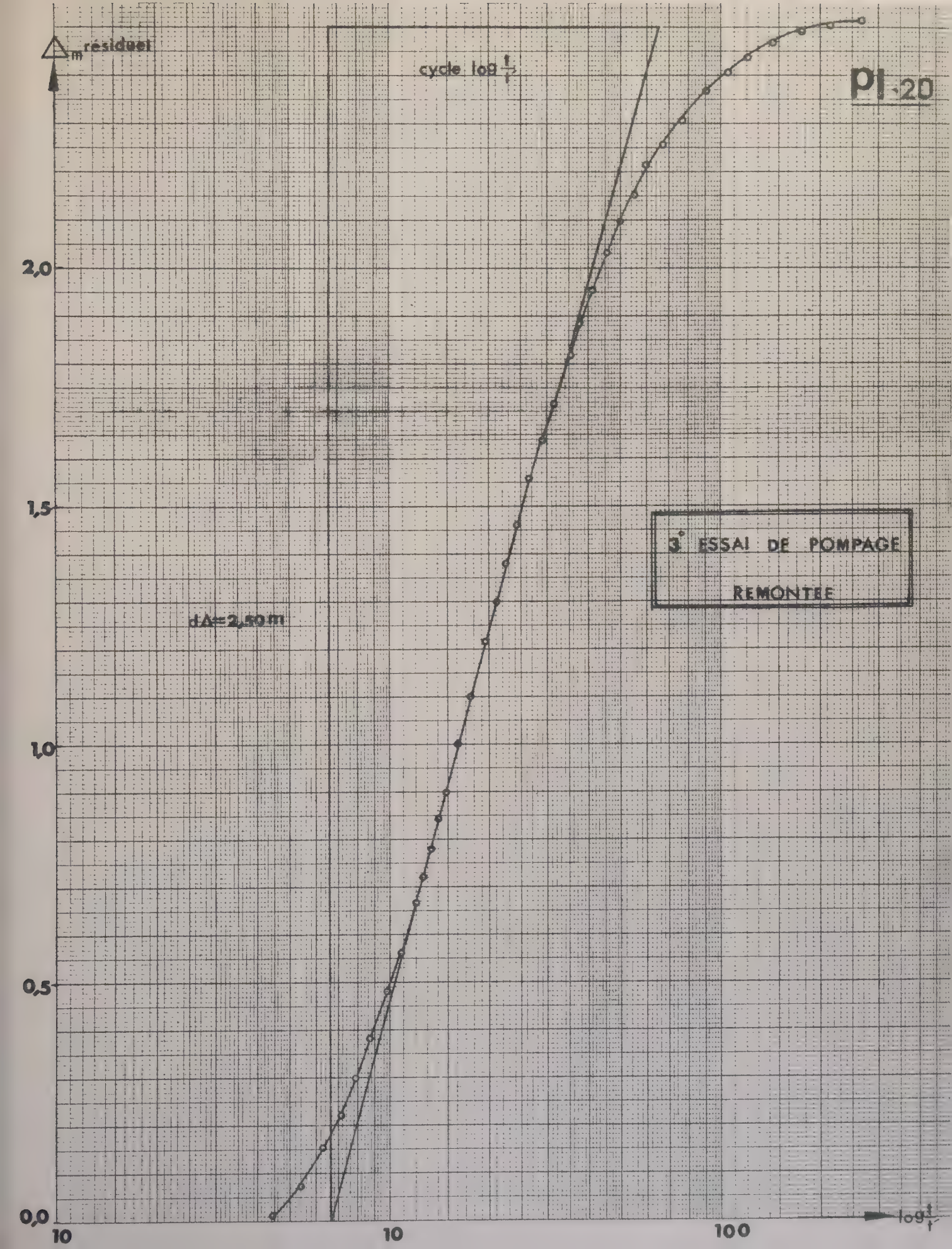
Après 2000 secondes de pompage, la courbe s'écarte de la droite, et nous pouvons dire que dans ce cas, il se manifeste, soit un effet d'égouttement, soit un effet de limite alimentée.

- Remontée : Méthode de Theis : Pl.20 -

Suivant la courbe $d\Delta = f(\log t/t')$, nous avons calculé la transmissivité pour un cycle logarithmique $d\Delta = 2{,}50$m. Le débit de pompage ayant été : $Q = 1{,}52.10^{-3}$ m^3/sec/m. Donc, $\boxed{T = 1{,}08.10^{-4}\ m^3/sec/m}$


ESSAI DE POMPAGE
DESCENTE PAR LA METHODE EXACTE
Δ_c = 0,618
W(U) = 0,48
U = 0,58


Δc
3° ESSAI
METHODE DE JACOB
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
dΔ=1,93 m
d log t=1
40
10²
10³
10⁴
log t


Δm résiduel
cycle log t'/t
PI-20
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
3° ESSAI DE POMPAGE
REMONTEE
dA=2,50 m
10
10
100
log t'/t

- Remontée : Méthode de Houpourt - Pouchan : Pl.2I -

Par la courbe de remontée $d(h' - h_I) = f(\log t')$ nous avons tiré pour un cycle $\log t' = I$, $d(h' - h_I) = 2,35m$. Donc pour un tel débit utilisé dans la méthode de Theis, nous avons déterminé la transmissivité de l'aquifère :

$T = I,I5.IO^{-4}\ m^3/sec/m$ et $S = 2,53\%$ d'où $R = I,5m.$

- QUATRIEME ESSAI DE POMPAGE : Date d'exécution : I9 mars I965.

Le forage a été débité durant 5h40mn avec un débit constant $Q = I,55.IO^{-3}\ m^3/sec$ et nous avons étudié l'évolution du cône de rabattement pendant le même temps, et ensuite celui de remontée pendant 2Ih, pour tous les piézomètres.

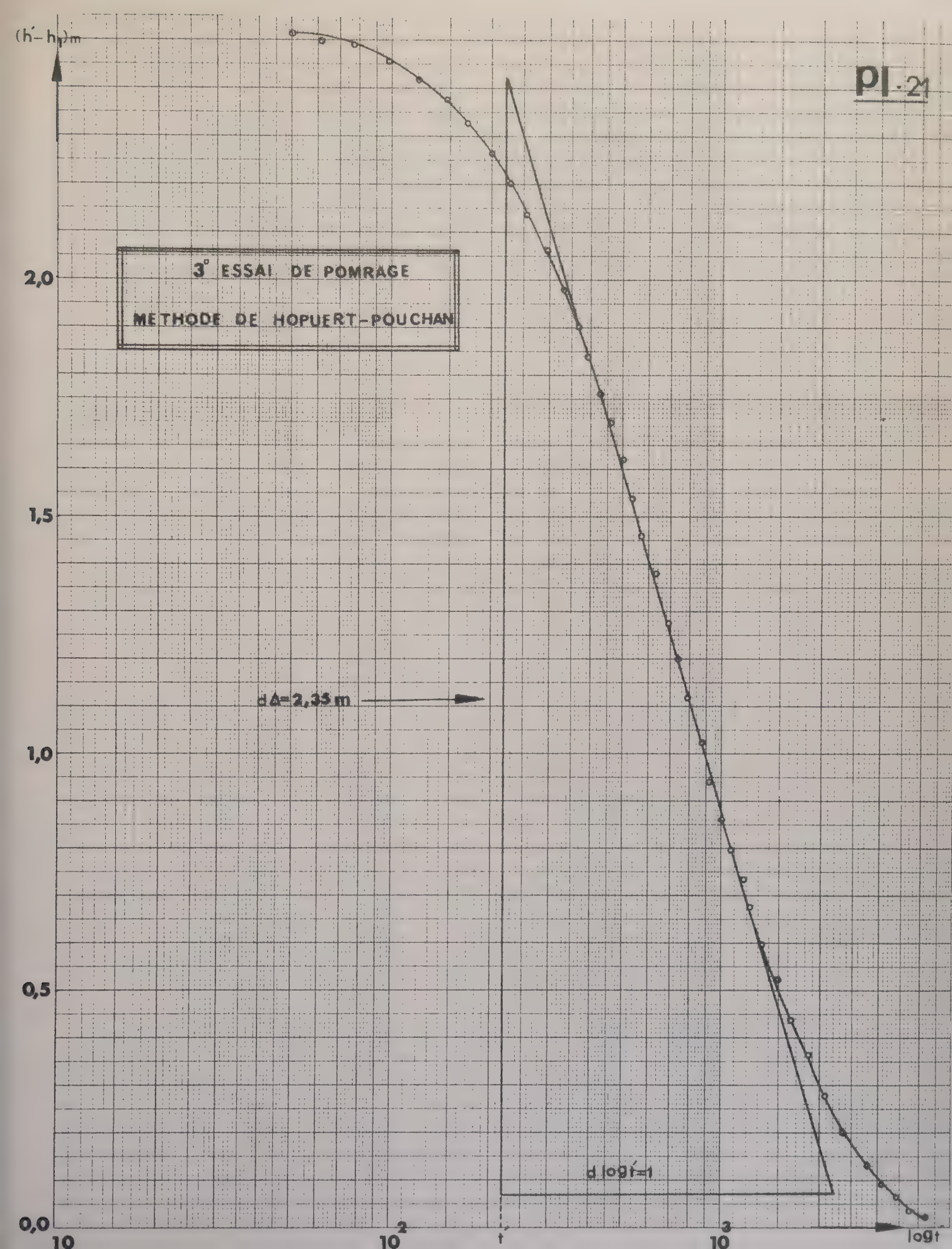
De ce fait le maximum de descente et de remontée dans chaque piézomètres est présenté sur le tableau ci-dessous : N.P. = niveau piézomètrique.

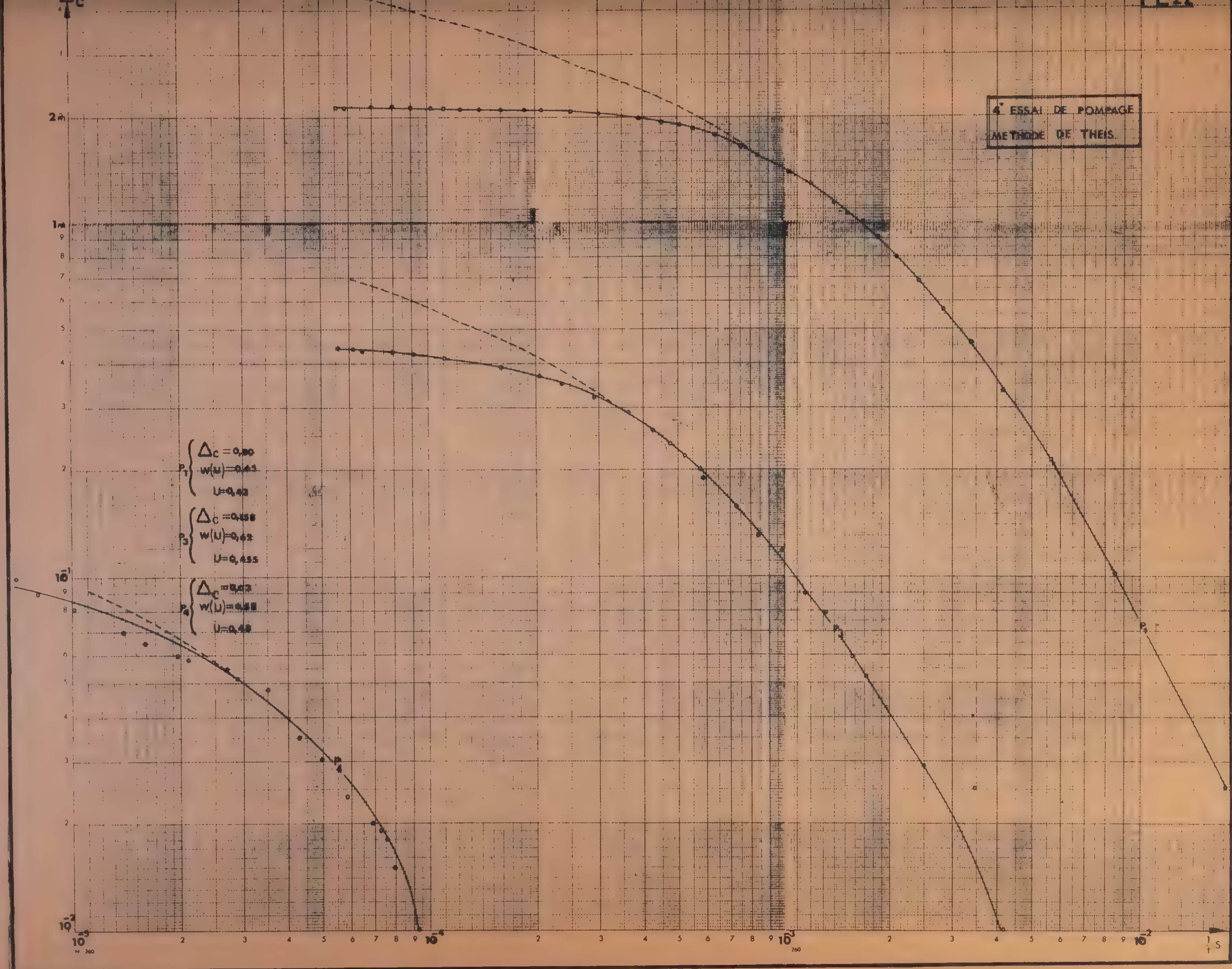
N° des piézomètres	I	2	3	4	5	6	7	8	9	IO	II
N.P. avant le pompage	6,I5	6,I7	6,20	6,24	6,06	6,I4	5,85	6,0I	6,02	6,I8	5,95
N.P. après 2Ih d'arrêt de pompage	6,I8	6,20	6,24	6,26	6,09	6,I7	5,90	6,I3	6,05	6,2I	5,98
descente maximum	2,64	I,63	0,46	0,II	0,I4	0,56	0,68	0,38	0,87	0,I7	0,48
remontée maximum	2,6I	I,60	0,42	0,09	0,38	0,53	0,63	0,26	0,84	0,I4	0,45

Ainsi nous avons constaté un rabattement résiduel pour tous les piézomètres.

I°/ Méthode de THEIS : Pl. 22.

Pour P_I : en de çà d'une valeur $I/t\ S = 6,95.IO^{-4}$, la coïncidence de cette courbe avec la courbe de Theis ne se fait plus et la courbe $\log(\Delta_c) = f(\log I/t\ S)$ passe au-dessous de la courbe $\log w(u) = f(\log u)$


(h'-h)m
3° ESSAI DE POMRAGE
METHODE DE HOPUERT-POUCHAN
dA=2,35 m
d logt'=1
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
10
10²
t'
10³
logt'


4° ESSAI DE POMPAGE
METHODE DE THEIS
2 m
1 m
Δc = 0,80
W(u)=0,62
u=0,455
t/s

Il s'agit donc d'un effet soit d'égouttement, soit de limite alimentée. Nous avons déterminé le point principal de portion superposée par les valeurs suivantes : $w(u) = 0,65$ $u = 0,43$

$I/t = 2,I.IO^{-3}$ en seconde $\Delta_c = 0,8$ m.

ainsi $\boxed{T = I.IO^{-4}\ m^3/sec/m}$ $\boxed{S = 3,67\ \%}$ $\boxed{K = 2,38.IO^{-5}\ m^3/sec/m^2}$

Pour P3 : la superposition de la courbe pratique concernant P3 à la courbe type nous a donné la même notion que pour P_I, c'est-à-dire, en de çà d'une valeur $I/t\ S = S.IO^{-4}$, la coïncidence de cette courbe à la courbe type ne se fait plus et la courbe P3 passe au-dessous de la courbe de Theis. Celà nous présente une limite perméable ou un phénomène d'égouttement.

D'après cette superposition, les valeurs trouvées sont définies par les coordonnées :

$w(u) = 0,62$ $u = 0,455$ $I/t = 7,25.IO^{-4}$ $\Delta_c = 0,I58$ m.

soit $\boxed{T = 4,84\ m^3/sec/m}$ et $\boxed{S = I,2\%}$ d'où $\boxed{R = IOm.}$

la perméabilité d'ensemble pour ce piézomètre est de l'ordre de :

$\boxed{K = I,I5.IO^{-4}\ m/sec}$

Pour P_4 : au cours du pompage la descente pour ce piézomètre était très faible et comme on voit sur le tableau ci-joint, le niveau piézométrique a été rabattu pendant tout le temps de pompage de 0,II5m. ce qui traduit une action faible et continue du cône de dépression inverse de ce piézomètre (aval de la nappe) et ce qui cause un certain intervalle concernant la stabilisation du niveau dans ce piézomètre par rapport aux piézomètres situés en amont : P_I, P2, P3, P5. Le point choisi de la portion superposée nous a donné :

$w(u) = 0,58$ $u = 0,48$ $I,/t\ S = 5,05.IO^{-4}$ $\Delta = 0,03$

ainsi $\boxed{T = 2,39.IO^{-3}\ m^3/sec/m}$ $\boxed{S = I,0I\%}$ d'où $\boxed{R = 30m.}$

et la perméabilité moyenne $\boxed{K = 5,7.IO^{-4}\ m^3/sec/m^2}$

Il est facile, en connaissant le quotient de piézotransmissivité (T/S) en ce qui concerne P_I, P_3 et P_4 de calculer :

$$\frac{T_I}{S_I} < \frac{T_3}{S_3} < \frac{T_4}{S_4} \text{ car } \frac{I.IO^{-4}}{3,67.IO^{-2}} < \frac{4,84.IO^{-4}}{I,2.IO^{-2}} < \frac{2,39.IO^{-3}}{I,I2.IO^{-2}}$$

d'où $\left[w(u)\right]_I > \left[w(u)\right]_3 > \left[w(u)\right]_4$ et $u_I < u_3 < u_4$

Donc nous allons dire que : l'évolution du cône de dépression vers la stabilisation dans P_I est plus rapide que dans P_3, et dans P_3 elle est encore plus rapide que dans P_4.

Réciproquement la vitesse de baisse du niveau piézométrique est plus lent que dans P_3 et dans P_3 encore plus lent que dans P_I.

2°/ Méthode de JACOB : Pl.23

Pour P_I : la droite correspondant au régime transitoire pur donne pour logt = I : $d(\Delta_c) = I,97m.$

Donc : $\boxed{T = I,44.IO^{-4}\ m^3/sec/m}$ $\boxed{S = 2,73\%}$ $\boxed{K = 3,42.IO^{-5}\ m^3/sec/m^2}$

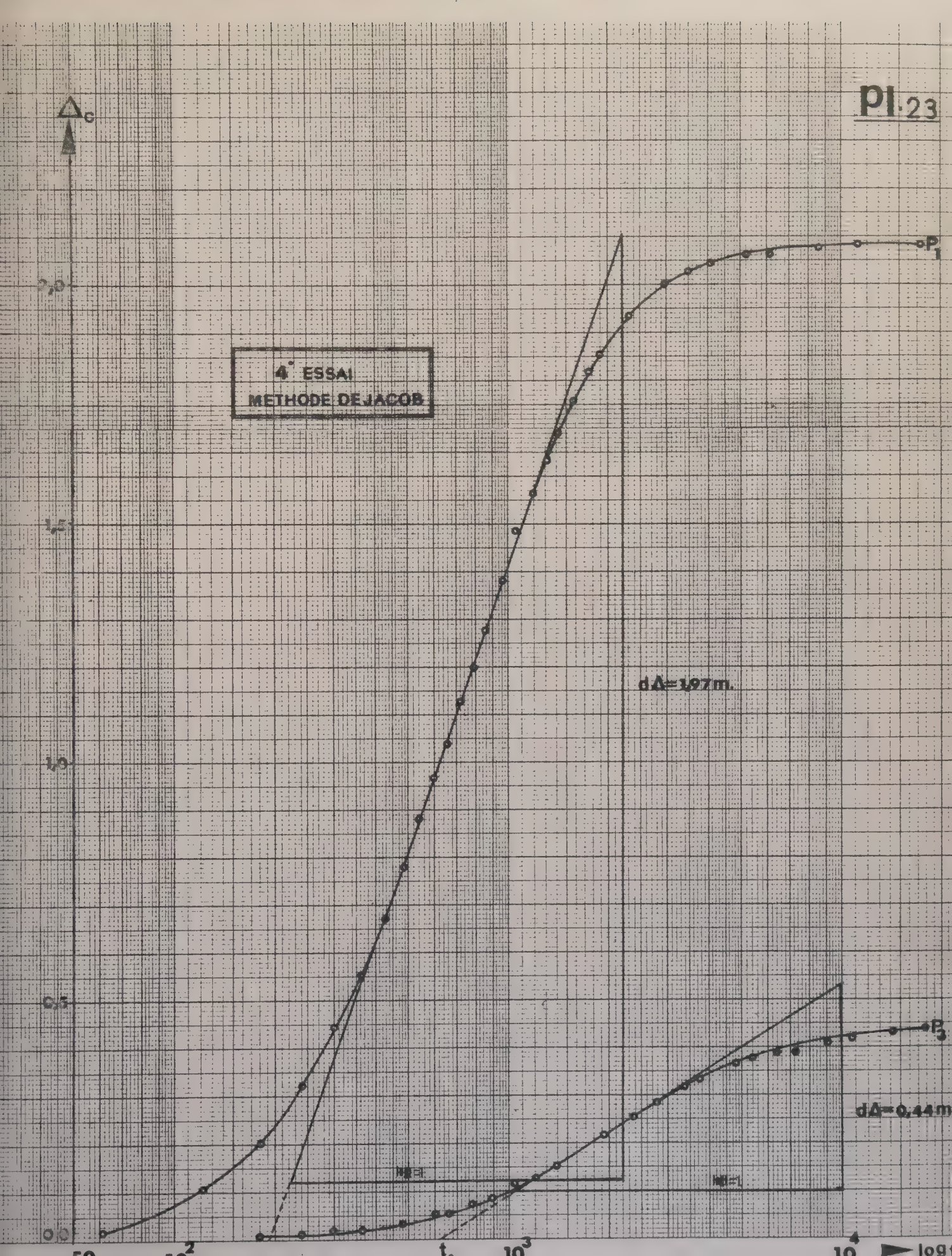
Pour P_3 : pour ce piézomètre, nous pouvons constater que la partie traduisant le régime transitoire en fonction du temps, en comparant avec P_I est très étalée. Elle comprend IO.000 secondes, tandis que pour P_I cette partie compte 3.000 secondes. D'autre part, $d(\Delta_c)$ pour P_3 est égal à 0,43m., ce qui représente une pente assez douce et une vitesse de stabilisation moins rapide. En effet nous avons pour $d(\Delta_c) = f(\log t)$:

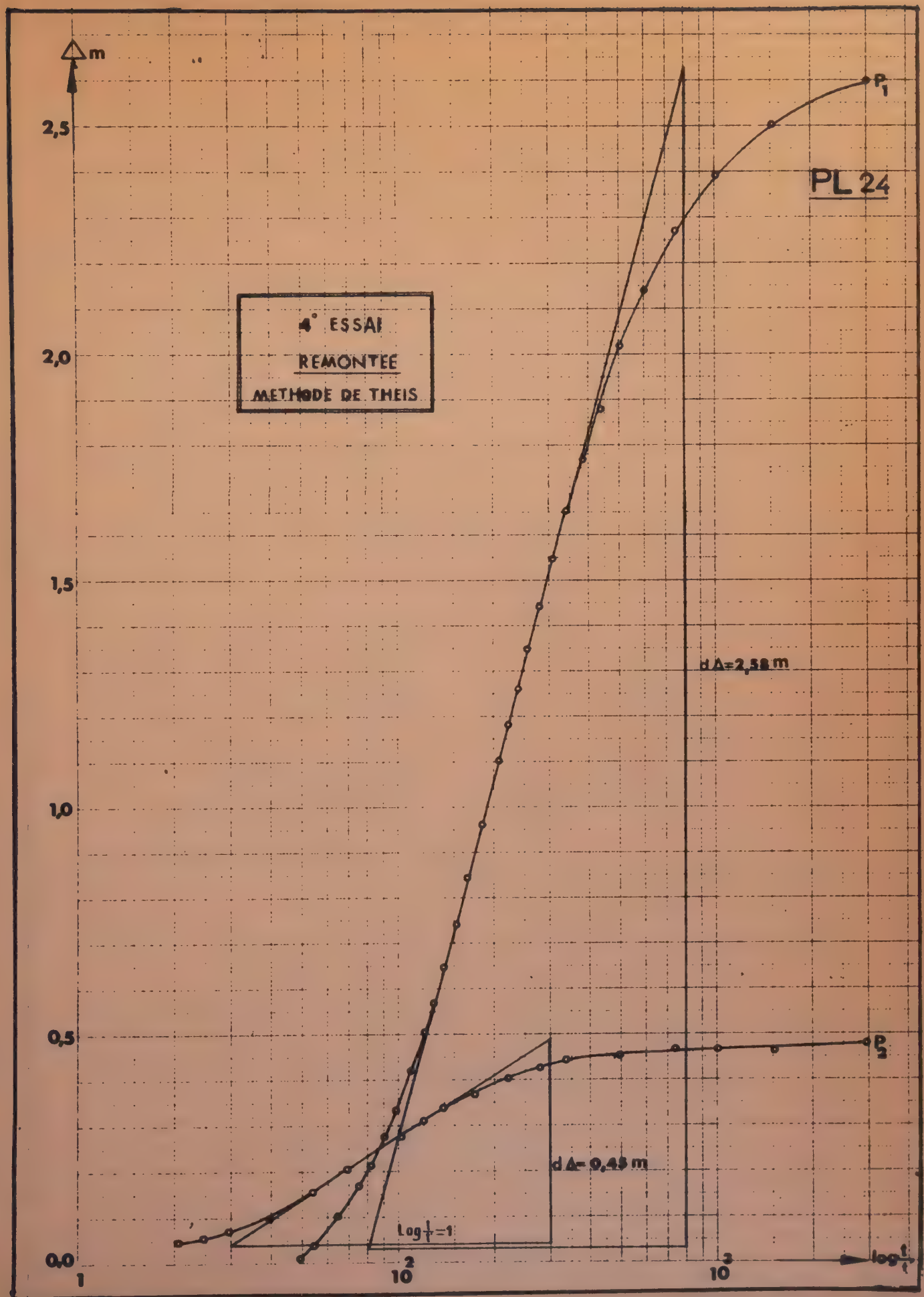
$\boxed{T = 6,44.IO^{-4}\ m^3/sec/m}$ $\boxed{S = 0,87\%}$ $\boxed{K = I,54.IO^{-4}\ m^3/sec/m^2}$

- Remontée : Méthode de Theis : Pl.24

L'interprétation des courbes P_I et P_3 sur la planche 23, nous montre que la capacité de l'aquifère à transmettre la surface piézomètrique au niveau précédent dans le P_I et P_3 obéit directement à la transmissivité et inversement au coefficient d'emmagasinement.

Car, pour P_I, ayant une transmissivité plus petite et un coefficient d'emmmagasinement plus grand que celui de P_3, le niveau de


Δc
4° ESSAI
METHODE DE JACOB
P1
dΔ=1,97 m.
P3
dΔ=0,44 m
1,5
1,0
0,5
0,0
10³
10⁴
log


m
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
1
10
10
log t/t
P1
P2
PL 24
4° ESSAI
REMONTEE
METHODE DE THEIS
dA=2,58 m
dA= 0,45 m
log t/t=1

l'eau atteint plus vite l'état de niveau initial (niveau de la nappe au repos) que pour P_3. De ce fait en construisant les courbes de remontée nous avons déterminé la transmissivité de l'aquifère pour chacun de ces piézomètres.

Pour P_I : avec $d(\log t/t') = I$ et $d\Delta = 2,85m$.

on obtient : $\boxed{T = 9,9.10^{-5}\ m^3/sec/m}$

Pour P_3 : avec $d(\log t/t') = I$ et $d\Delta = 0,45m$.

on obtient : $\boxed{T = 6,4.10^{-4}\ m^3/sec/m}$

3°/ Méthode de HOUPEURT modifiée par POUCHAN : Pl.25

Pour P_I : le débit constant de pompage ayant été :

$$Q = 1,55.10^{-3}\ m^3/sec$$

on a pour un cycle logarithmique $d(h' - h_I) = 2,35m$

ainsi $\boxed{T = 1,20.10^{-4}\ m^3/sec/m}$ et $\boxed{S = 2,47\%}$

Pour P_3 : nous avons obtenu avec : $d(h' - h_I) = 0,41m$

$\boxed{T = 6,9.10^{-4}\ m^3/sec/m}$ et $\boxed{S = 1,29\%}$

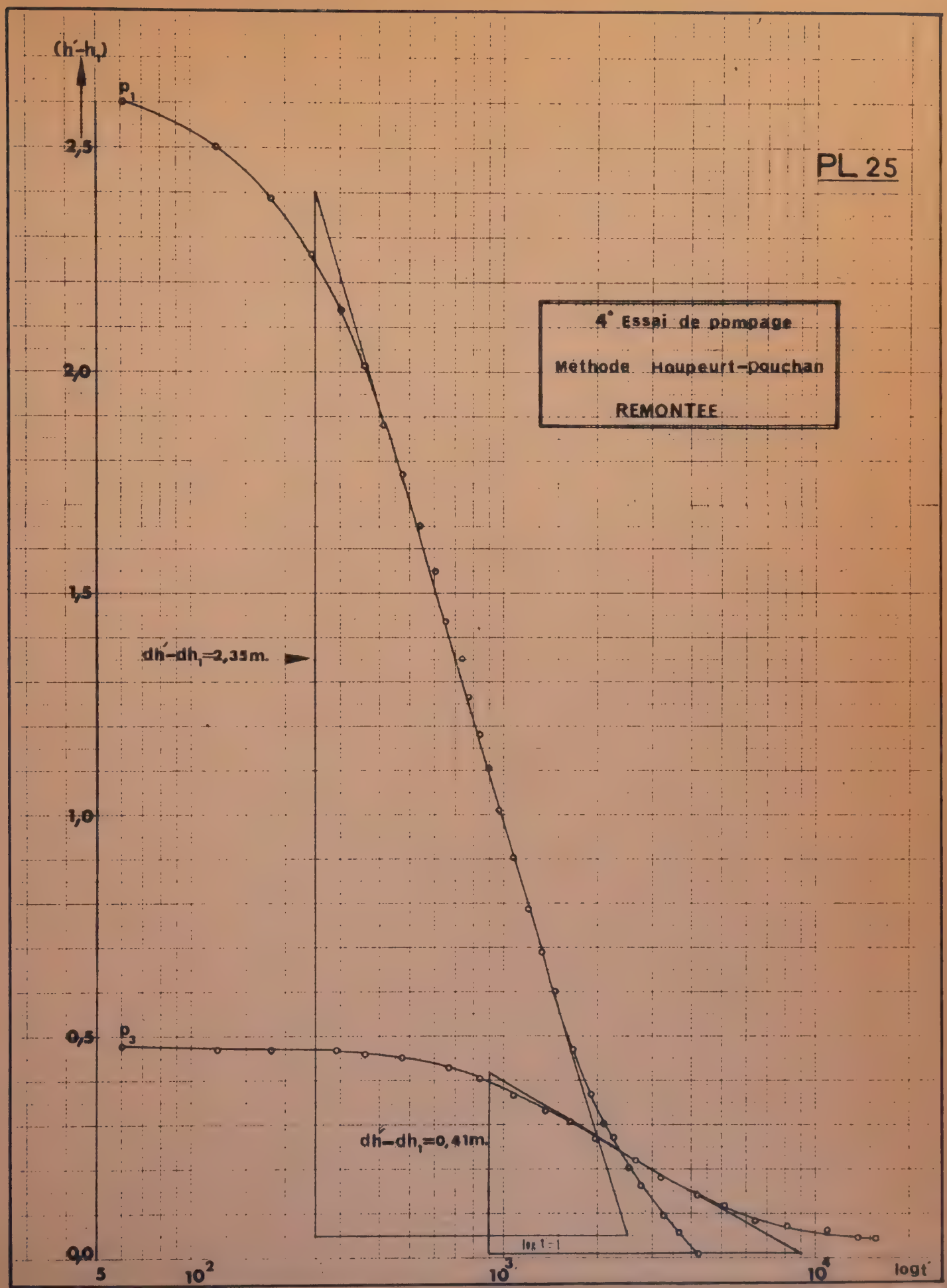
CINQUIEME ESSAI DE POMPAGE : Date d'exécution : du 18 au 30 juin 1965

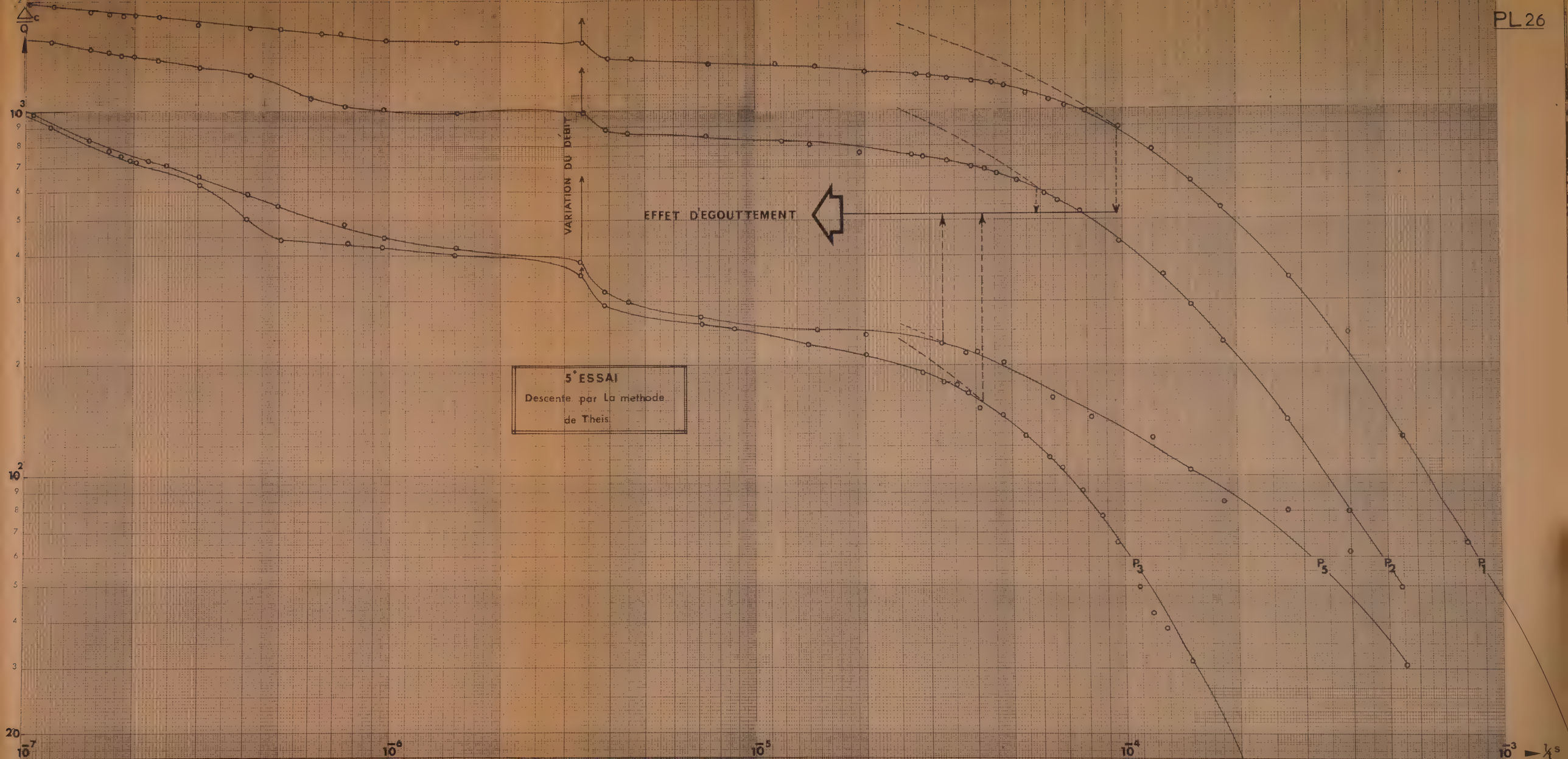
Le forage a été soumis à un essai de pompage d'une durée de 12 jours. Le débit moyen était égal à $Q_m = 1,307.10^{-3}\ m^3/sec$ et la descente maximum pour les piézomètres était de :

N° des piézomètres	I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Pts Préhis.
maximum en mètre	2,97	2,23	1,17	1,03	1,23	1,33	1,46	1,76	1,39	1,00	1,34	0,49

1°/ Méthode exacte de THEIS : Pl.26

Nous avons appliqué cette méthode à la première


(h'-h1)
P1
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
P3
dh'-dh1=2,35m.
dh'-dh1=0,41m.
log t = 1
5
10²
10³
10⁴
logt'
PL 25
4° Essai de pompage
Méthode Houpeurt-Douchan
REMONTEE


Δc
Q
VARIATION DU DÉBIT
EFFET D'EGOUTTEMENT
5° ESSAI
Descente par la methode de Theis
P3
P5
P2
P1
10 3
10 2
20
10⁻⁷
10⁻⁶
10⁻⁵
10⁻⁴
10⁻³
1/s

rangée de piézomètres (les n° I, 2, 3, en aval et le n°5 en amont du forage confer Pl.2).

En réalisant les courbes de $\log \frac{\triangle c}{Q} = f (\log I/t\ S)$ pour ces piézomètres nous avons constaté ici encore qu'il se présente un phénomène d'égouttement à partir du temps $I/t\ S \geqslant 3.10^{-5}$. D'après la superposition de la courbe expérimentale à la courbe standard, nous avons obtenu les coordonnées suivantes :

N° des piézomètres	w (u)	u	I/t S	c en m	T en m^2/sec	S en %	K en m/sec
I	0,79	0,36	$I,85.10^{-3}$	0,880	$9,4\ .10^{-5}$	3,24	$2,24.10^{-5}$
2	0,47	0,60	$I,5I.10^{-3}$	0,470	$I,I2.10^{-4}$	0,7I	$2,66.10^{-5}$
3	0,66	0,42	$6,40.10^{-4}$	0,I67	$4,II.10^{-4}$	I,06	$9,80.10^{-5}$
5	2,50	0,075	$6,40.10^{-4}$	0,250	$4,80.10^{-4}$	0,I0	$I,I4.10^{-4}$

Au sujet du quotient de piézotransmissivité pour ces piézomètres nous pouvons constater que :

$$\left[\frac{T}{S}\right]_I < \left[\frac{T}{S}\right]_2 < \left[\frac{T}{S}\right]_3 < \left[\frac{T}{S}\right]_5 \quad \text{d'où}$$

$$2,9.10^{-3} < I,6.10^{-2} < 3,9.10^{-2} < 4,8.10^{-I} \quad \text{avec :}$$

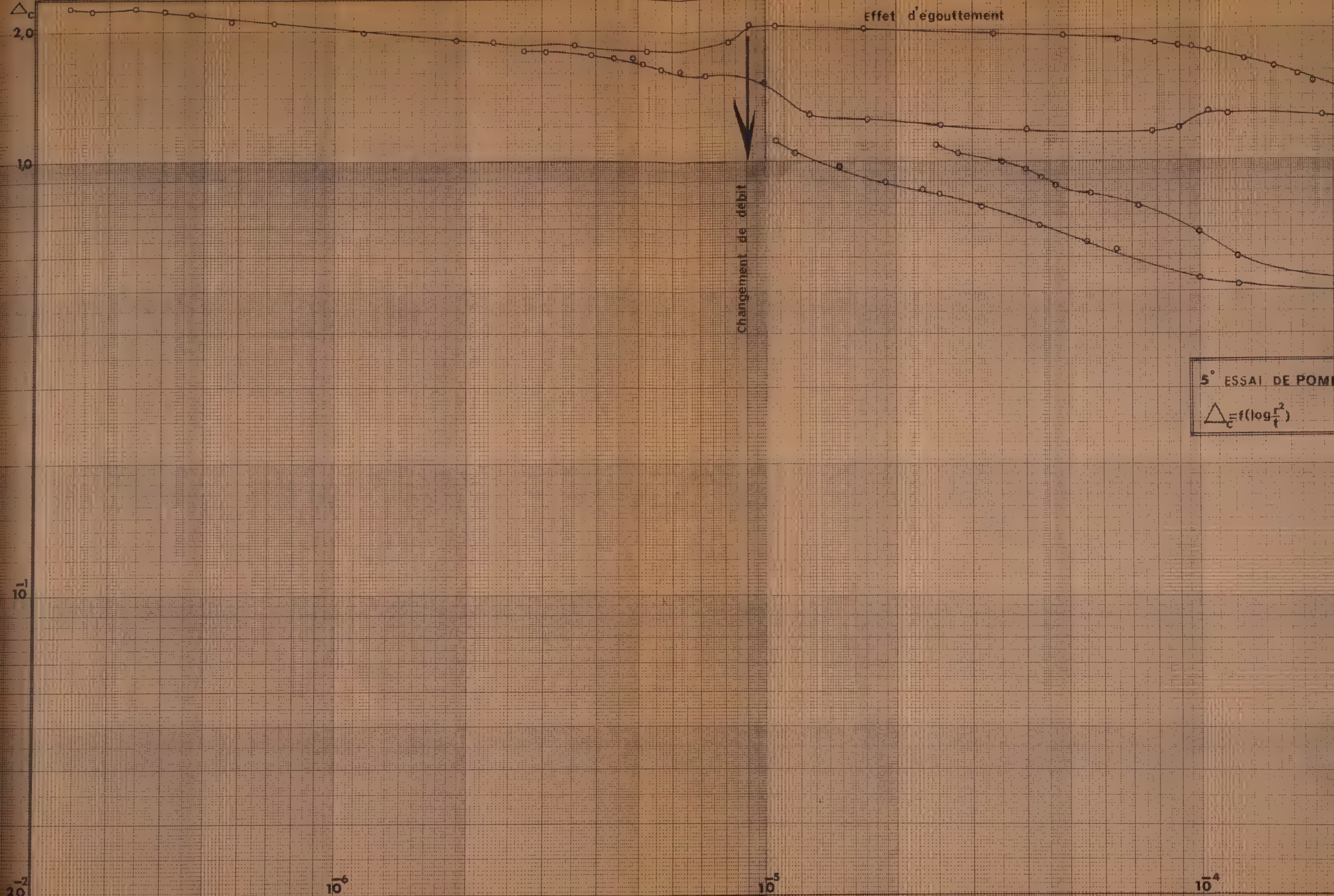
$$T_5 > T_3 > T_2 > T_I$$

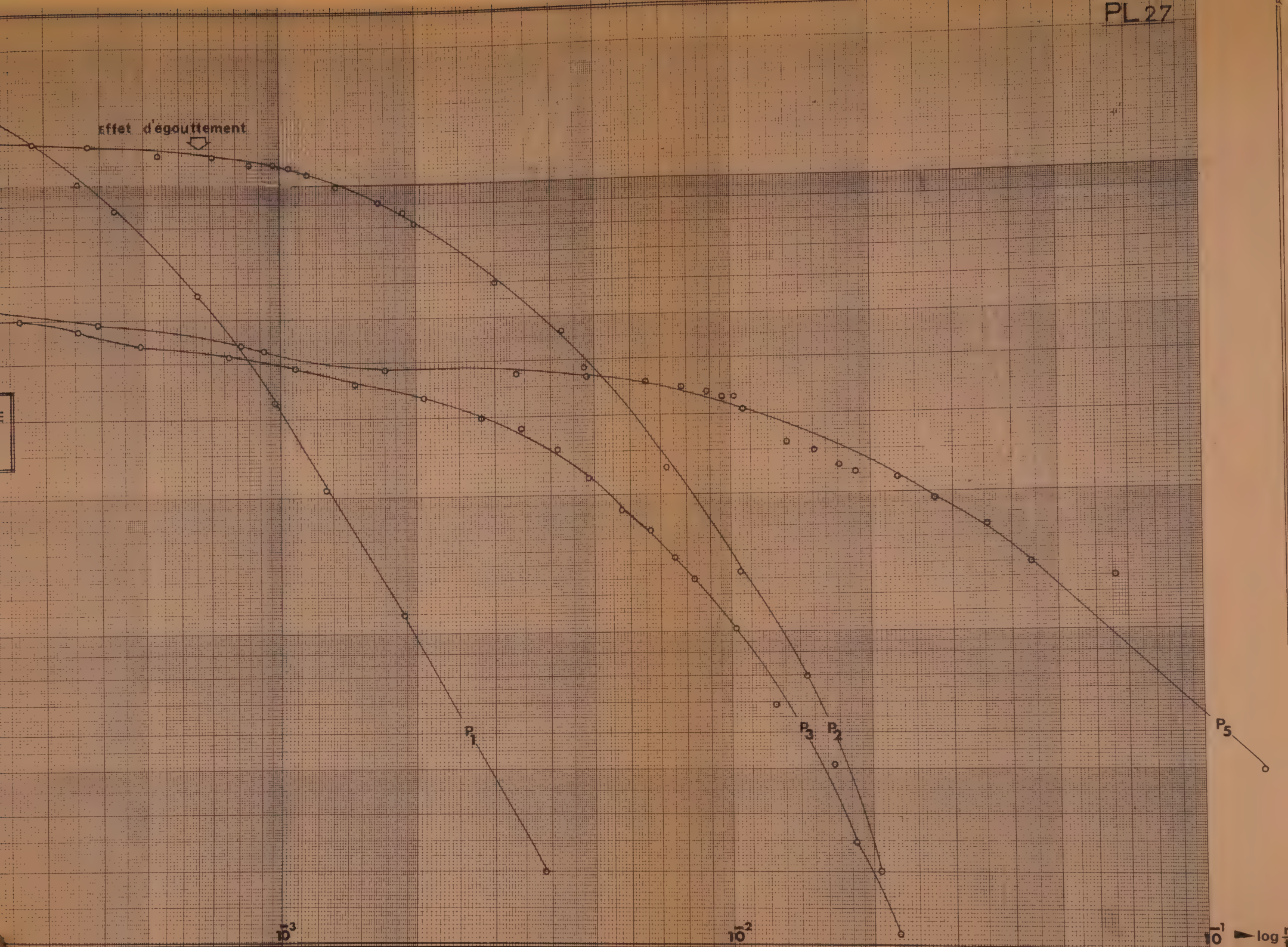
Donc la stabilisation du rabattement en fonction du temps dans le P_I est plus rapide que dans P_2 ; dans P_2 plus rapide que dans P_3 ; dans P_3 plus rapide que dans P_5. Par conséquent le cône de dépression dans P_I se creuse davantage que dans P_2, P_3, P_5.

- COURBES RABATTEMENT - DISTANCE -

- Etude de la descente dans une rangée de piézomètres : Pl.27

a) Méthode de THEIS : pour pouvoir réaliser cette étude, nous avons construit les courbes de $\log \triangle_c = f (\log \frac{r^2}{t})$, représentant $\triangle_c$ en m., r en m. et t en seconde, concernant une rangée de piézomètres


Effet d'égouttement
Changement de débit
5° ESSAI DE POMP
$\Delta_c = f(\log \frac{r^2}{t})$
Δ_c
2,0
1,0
10^{-1}
10^{-2}
10^{-6}
10^{-5}
10^{-4}


Effet d'égouttement
P1
P3
P2
P5
10⁻³
10⁻²
10⁻¹
log

située en amont et en aval du forage.

Les différentes valeurs sont rassemblées dans le tableau n° IV.

Le premier palier à partir de 25.200 secondes correspond à un changement de débit et c'est au-delà de ce temps que l'on peut constater l'effet d'égouttement sur les courbes tracées.

- Déréglement des courbes :

Sur la planche 27, on peut distinguer les décalages entre les courbes, causés par l'hétérogénéité de l'aquifère car, si le milieu était nettement homogène et isotrope, les courbes seraient confondues, mais dans le cas présent, c'est probablement à cause de la variation de la perméabilité et transmissivité.

Nous avons calculé par les formules suivantes les valeurs de T, S et K pour chacun des piézomètres de la manière suivante : le débit moyen égal à $I,307.10^{-3}$ m^3/sec.

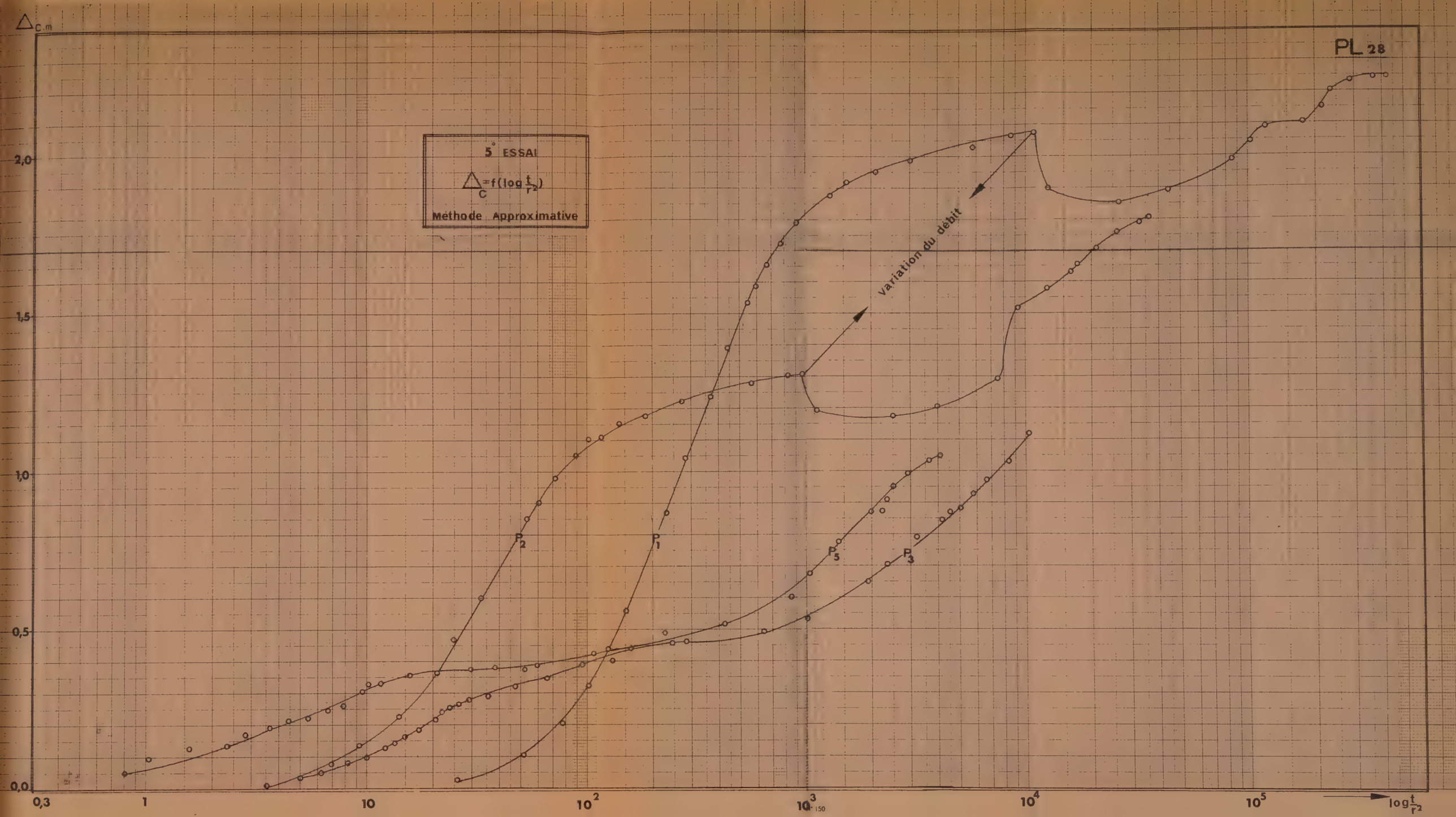
$$T = 0,0796 \frac{Q}{\Delta_c} \; w(u) \quad \text{soit} \quad S = 4 \frac{u\,T}{r^2/t}$$

N° des piézomètres	w (u)	u	c.m	r^2/t	$T.m^3/sec$	S %	K m/sec
I	0,80	0,35	0,88	$4,10.10^{-3}$	$9,46.10^{-5}$	3,23	$2,25.10^{-5}$
2	0,96	0,28	0,60	$2,90.10^{-2}$	$1,66.10^{-4}$	0,60	$3,95.10^{-5}$
3	0,65	0,44	0,167	$6,40.10^{-2}$	$4,02.10^{-4}$	1,04	$9,57.10^{-5}$
4	1,46	0,15	0,220	$2,20.10^{-1}$	$4,72.10^{-4}$	0,13	$11,24.10^{-5}$

b) Méthode approximative : Pl.28

Nous avons appliqué la méthode de JACOB pour la même rangée de piézomètres que précédemment en construisant les courbes de : $d(\Delta_c) = f'(\log \frac{t}{r^2})$. Les valeurs de t/r^2 sont consignées sur le tableau n° IV. L'asymptote rectiligne coupe l'axe t/r^2 au point t_o concernant les courbes P_1, P_2, P_3, P_5 et en ce point nous avons pour T et S :

$$T = \frac{0,183\,Q}{d(\Delta_c)} \quad \text{et} \quad S = 2,25\,T\,\frac{t_o}{r^2}$$


PL 28
5° ESSAI
Δc = f(log t/r²)
Méthode Approximative
variation du débit
P2
P1
P5
P3
Δc.m
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
0,3
1
10
10²
10³
10⁴
10⁵
log t/r²

T A B L E A U N° IV

t en seconde	P_I			P_2			P_3			P_5		
	r^2/t	c	t/r^2	r^2/t	c	t/r^2	r^2/t	c	t/r^2	r^2/t	c	t/r^2
360	$6,2.10^{-3}$	0,570	160,2	$6,9.10^{-2}$	0,23	14,4	$2,7.10^{-1}$	0,012	3,6	$6,25.10^{-1}$	0,13	1,6
1.800	$1,2.10^{-3}$	1,730	800	$1,3.10^{-2}$	0,98	72	$5,5.10^{-2}$	0,186	18	$1,25.10^{-1}$	0,26	8
3.000	$7,5.10^{-4}$	1,890	1.333	$8,3.10^{-3}$	1,12	120	$3,3.10^{-2}$	0,283	30	$7,50.10^{-2}$	0,35	13,3
21.600	$1,0.10^{-4}$	2,076	9.600	$1,1.10^{-3}$	1,31	864	$4,6.10^{-3}$	0,444	216	$1,04.10^{-2}$	0,396	96
25.200	$8,9.10^{-5}$	2,085	11.214	$9,9.10^{-4}$	1,32	1.008	$3,9.10^{-3}$	0,460	252	$8,92.10^{-3}$	0,433	112
102.000	$2,2.10^{-5}$	1,900	45.333	$2,4.10^{-4}$	1,21	4.080	$9,8.10^{-4}$	0,535	1.020	$2,20.10^{-3}$	0,530	453
541.200	$4,1.10^{-6}$	2,207	240.533	$4,6.10^{-5}$	1,713	21.648	$1,8.10^{-4}$	0,910	5.412	$4,15.10^{-4}$	0,883	2.405
947.400	$2,3.10^{-6}$	2,250	421.006	$2,6.10^{-5}$	1,815	37.896	$1,0.10^{-4}$	1,13	9.474	$2,37.10^{-4}$	1,10	4.210
1.033.800	$1,9.10^{-6}$	2,250	459.466	$2,4.10^{-5}$	1,815	41.352	$9,6.10^{-5}$	1,13	10.338	$2,17.10^{-4}$	1,10	4.594

Tous les résultats obtenus sont présentés dans le tableau ci-dessous.

N° des piézomètres	r : m	d (Δ_c)	t_o/r^2	T = m^2/sec	S %	K = m/sec
I	I,5	I,83	80	$I,30.I0^{-4}$	2,34	$3,09.I0^{-5}$
2	5	I,I7	I0,5	$2,08.I0^{-4}$	0,49	$5,00.I0^{-5}$
3	I0	0,4I	6	$5,83.I0^{-4}$	0,79	$I,38.I0^{-4}$
5	I5	0,38	I,5	$6,30.I0^{-4}$	0,2I	$I,50.I0^{-4}$

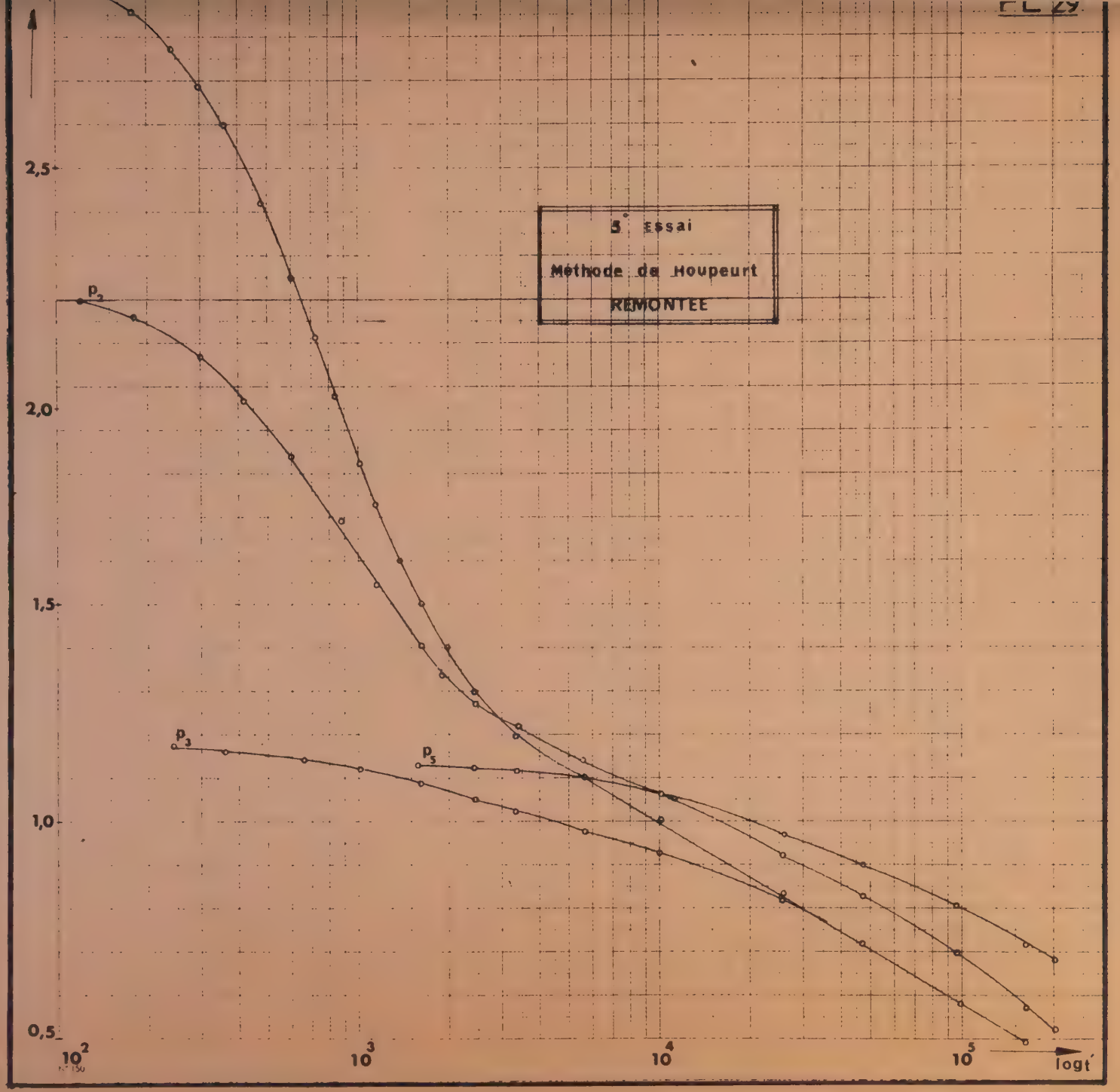
- Remontée. Méthode de HOUPEURT - POUCHAN : Pl.29

Nous avons suivi la remontée pendant I0 jours dans tous les piézomètres et nous avons construit les courbes de remontée pour P_I, P_2, P_3, P_5. Le débit moyen du pompage ayant été $Q_m = I,307.I0^{-3}$ m^3/sec, les portions linéaires choisies concernant P_I et P_2 sont environ 6 fois plus raides que pour P_3 et P_5, ce qui nous présente une évolution vers la stabilisation plus rapide pour P_I et P_2, tandis que l'étendue du cône de rabattement pour P_3 et P_5 est plus vaste et le niveau d'eau dans ces deux piézomètres remonte d'autant plus lentement qu'il a été rabattu lentement.

A partir de 47.400 secondes, la courbe P_3 se confond avec la courbe P_I. Il nous faut rappeler qu'au cours de la remontée on a constaté que le niveau d'eau n'arrive pas à la surface avant le pompage, même un mois après que le pompage ait été arrêté. Celà correspond directement à la vidange de la nappe au mois d'août, les résultats acquis sont apportés sur le tableau ci-dessous :

Remontée. 5e essai de pompage

N° des P.	d (Δ) = m	t_o	T = m^3/sec/m	S = %
I	I,85	270	$I,29.I0^{-4}$	3,48
2	I,03	450	$2,I0.I0^{-4}$	0,8I
3	0,22	I000	$9,98.I0^{-4}$	2,42
5	0,30	I0000	$7,98.I0^{-4}$	7,98


5° Essai
Méthode de Houpeurt
REMONTEE
p2
p3
p5
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
10^2
10^3
10^4
10^5
log t'

- SIXIEME ESSAI DE POMPAGE : Date d'exécution : du I2 octobre I965 au I5 janvier I966

- Descente dans un état semi-permanent -

Cet essai de débit a été effectué pendant une période de 95 jours, et comme nous pouvons le constater sur la courbe de niveau (confer Pl.48 à la 3e partie) à partir du 40ème jour d'essai de pompage, le niveau de la nappe s'est mis à remonter et le débit envisagé a commencé à s'accroître jusqu'au troisième mois de pompage. Ensuite la nappe s'est stabilisé de sorte que $Q = f(\Delta)$ et $\Delta/Q = f(Q)$ sont restés constants, ce qui a permis d'utiser les méthodes qui s'appliquent au régime d'équilibre pour cet essai.

A partir de la stabilisation, le rabattement pour la première rangée de piézomètres était égal à : P_I = 2,82m., P_2 = I,82m., P_3 = 0,20m., P_5 = 0,58m., (voir fig.2). Ce niveau ne variait pas au cours du pompage. Donc, étant donné que ces piézomètres sont des puits parfaits, atteignant toute l'épaisseur de l'aquifère, nous avons utilisé les méthodes de DUPUIT et de THIEM pour trouver les valeurs du coefficient de Darcy et de la transmissivité dans cette nappe libre ; le débit moyen de pompage ayant été égal à : $I,0I.I0^{-3}$ m^3/sec.

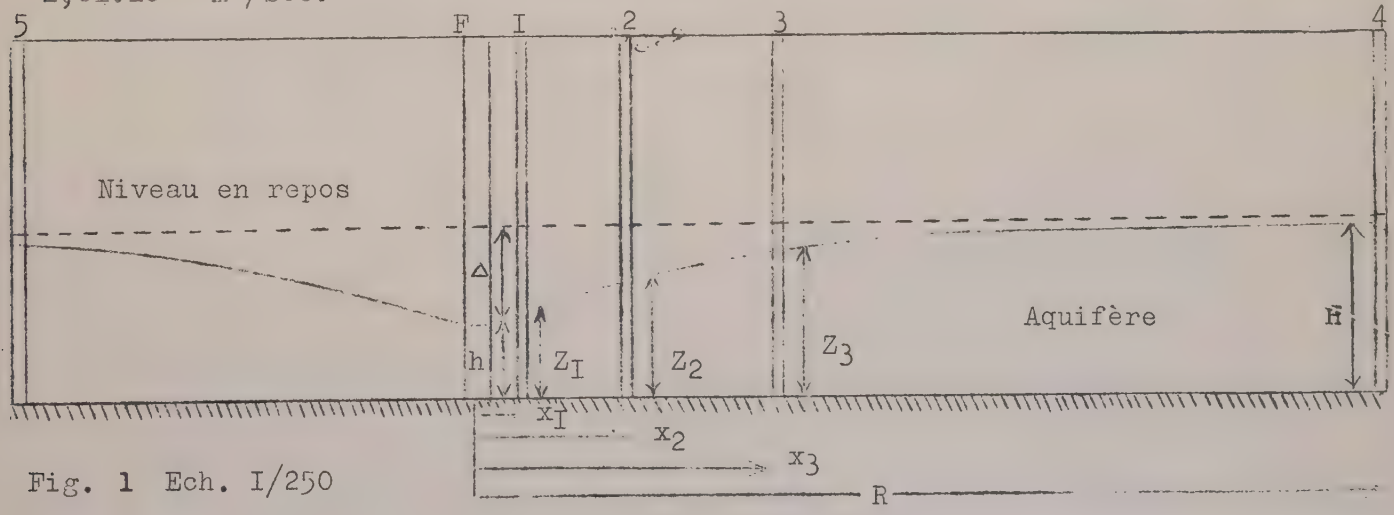


Fig. 1 Ech. I/250

a) Application de la méthode de DUPUIT : La formule donnée pour la nappe libre est la suivante :

$$Q = \pi K \frac{(H^2 - h^2)}{\log_e R/r} \quad \text{soit} \quad K = Q \frac{\log R/r}{I,366\,(H^2 - h^2)}$$

dans laquelle H représente le niveau d'eau dans le piézomètre considéré avant

le pompage, h le niveau d'eau après la stabilisation, R le rayon d'action du rabattement et r la distance entre le piézomètre et le captage.

Par conséquent, $Q/(H^2 - h^2)$ est constant et indépendant du temps. Les résultats obtenus en appliquant cette méthode sont rassemblés au tableau suivant :

N° des Piézomètres	T en $m^3/sec/m$	K en $m^3/sec/m^2$	R en mètre	r en mètre	H en mètre	h en mètre
I	$I,47.I0^{-4}$	$3,50.I0^{-5}$	30	I,5	6,25	2,93
2	$I,37.I0^{-4}$	$3,27.I0^{-5}$	30	5	6,255	3,92
3	$2.I0^{-4}$	$4,73.I0^{-5}$	30	I0	6,30	4,94

- REMARQUE -

Pour employer la méthode ci-dessus, nous avons pris pour (R) une valeur égale à 30m., où se trouve P_4, en aval du forage, car pour ce piézomètre le cône de rabattement a été tout à fait stabilisé, en plus rappelons que l'épaisseur de l'aquifère captée pour ces calculs a été égale à 4,20 mètres correspondant à la partie crépinée du forage, et on a considéré la hauteur moyenne pour ces piézomètres par rapport au sol, égale à I2 mètres.

b) Méthode de THIEM :

Pour que l'on puisse appliquer la méthode de Dupuit, il est nécessaire d'évaluer la valeur (R), ce qui est difficile dans le cas pratique. Or, nous avons employé la méthode de Thiem qui permet de calculer le coefficient de Darcy, donc la transmissivité de la nappe sans que (R) intervienne selon la formule :

$$Q = \pi K \frac{(L^2_2 - L^2_I)}{\log_e x_2/x_I} \quad \text{soit} \quad K = Q \frac{\log x_2/x_I}{I,366\ (L^2_2 - L^2_I)}$$

x : distance entre le piézomètre considéré et le forage.
L : hauteur d'eau dans le piézomètre.

De ce fait nous avons tiré d'après la valeur de L et x pour chacun de ces piézomètres les valeurs de K et T entre P_I, P_2 et P_2, P_3 et P_3, P_4 décritent au tableau ci-dessous.

N° des piézomètres	x en mètre	L en mètre	T = m^3/sec/m	K = m^3/sec/m^2
I	I,5	2,93		
2	5	3,92	$2,37.10^{-4}$	$5,64.10^{-5}$
3	I0	4,94	$I,03.10^{-4}$	$2,46.10^{-5}$
4	30	5,60	$0,78.10^{-4}$	$I,87.10^{-5}$

- Remontée : Méthode de HOUPEURT, modifiée par POUCHAN.

De la courbe $(h' - h_I) = f(\log t')$ pour un cycle logarithmique nous avons obtenu les valeurs ci-dessous pour P_I et P_2 :

Pour P_I : $T = I,20.10^{-4}$ m^3/sec/m et S = 2,40%

Pour P_2 : $T = I,85.10^{-4}$ m^3/sec/m et S = 0,73%

REMARQUE : Nous avons porté toutes les valeurs obtenus dans les tableaux n° 5 et 6, correspondant aux méthodes utilisées pour ces essais de pompage.

- CONCLUSION ET CRITIQUE -

L'examen des valeurs obtenues pour T et S, à l'aide de la méthode de Theis et de Jacob lors de la descente montre que l'on obtient une valeur plus forte pour T et une valeur moins forte pour S par la méthode de Jacob. D'ailleurs, pour la remontée les valeurs trouvées pour T par la méthode de Theis sont moins fortes que les valeurs trouvées à l'aide de la méthode de Houpeurt-Pouchan. Cette deuxième méthode est sans nul doute plus exacte, puisque la méthode de Theis pour la remontée implique qu'un régime transitoire pur a lieu pendant tout l'essai.

Les valeurs trouvées pour les divers piézomètres ne sont pas semblables et celles-ci dépendent de la composition lithologique

TABLEAU N° V

Récapitulation générale des paramètres hydrauliques de l'aquifère

N° des essais	N° des P.	DESCENTE						REMONTEE		
		Méthode de THEIS			Méthode de JACOB			THEIS	HOUPEURT - POUCHAN	
		T	S	K	T	S	K	T	T	S
1°	1	1.10^{-4}	3,56 %	$2,43.10^{-5}$	$1,36.10^{-4}$	2,85 %	$3,24.10^{-5}$	$1,01.10^{-4}$	—	—
	2	$1,68.10^{-4}$	0,73 %	4.10^{-5}	$2,17.10^{-4}$	0,49 %	$5,15.10^{-5}$	—	—	—
2°	1	$1,04.10^{-4}$	3,98 %	$2,45.10^{-5}$	$1,30.10^{-4}$	2,60 %	$3,09.10^{-5}$	$1,80.10^{-4}$	$1,15.10^{-4}$	2,30 %
3°	1	$9,4.10^{-5}$	3,63 %	$2,24.10^{-5}$	$1,40.10^{-4}$	2,75 %	$3,30.10^{-5}$	$1,08.10^{-4}$	$1,15.10^{-4}$	2,53 %
4°	1	$1,10.10^{-4}$	3,67 %	$2,83.10^{-5}$	$1,44.10^{-4}$	2,73 %	$3,43.10^{-5}$	$9,90.10^{-5}$	$1,20.10^{-4}$	2,47 %
	3	$4,84.10^{-4}$	1,20 %	$1,15.10^{-4}$	$6,44.10^{-4}$	0,87 %	$1,54.10^{-4}$	$6,40.10^{-4}$	$6,90.10^{-4}$	1,29 %
	4	$2,39.10^{-3}$	1,01 %	$5,70.10^{-4}$	—	—	—	—	—	—
5°	1	$9,4.10^{-5}$	3,24 %	$2,24.10^{-5}$	$1,30.10^{-4}$	2,34 %	$3,09.10^{-5}$	—	$1,29.10^{-4}$	3,48 %
	2	$1,12.10^{-4}$	0,71 %	$2,66.10^{-5}$	$2,08.10^{-4}$	0,49 %	5.10^{-5}	—	2.10^{-4}	0,81 %
	3	$4,11.10^{-4}$	1,06 %	$9,80.10^{-5}$	$5,83.10^{-4}$	0,79 %	$1,38.10^{-4}$	—	$9,80.10^{-4}$	2,42 %
	5	$4,8.10^{-4}$	0,10 %	$1,14.10^{-4}$	$6,30.10^{-4}$	0,21 %	$1,50.10^{-4}$	—	$7,98.10^{-4}$	7,98 %
essai	P.	DUPUIT			THIEM			THEIS	HOUPEURT - POUCHAN	
6°	1	$1,47.10^{-4}$	—	$3,50.10^{-5}$	$2,37.10^{-4}$	—	$5,64.10^{-5}$	—	$1,20.10^{-4}$	2,40 %
	2	$1,37.10^{-4}$	—	$3,27.10^{-5}$	$1,03.10^{-4}$	—	$2,46.10^{-5}$	—	$1,85.10^{-4}$	0,73 %
	3	$2,00.10^{-4}$	—	$4,73.10^{-5}$	$0,78.10^{-4}$	—	$1,87.10^{-5}$	—	—	—
	4	—	—	—				—	—	—

TABLEAU N° VI

Valeurs de T, S, K, et leur comparaison dans les mêmes piézomètres au cours de chaque essai

N° des P.	N° des essais	DESCENTE						REMONTEE		
		Méthode de THEIS			Méthode de JACOB			THEIS	HOUPEURT - POUCHAN	
		T	S	K	T	S	K	T	T	S
P_I	I°	$I.IO^{-4}$	3,56 %	$2,43.IO^{-5}$	$I,36.IO^{-4}$	2,85 %	$3,24.IO^{-5}$	$I,0I.IO^{-4}$	—	—
	2°	$I,04.IO^{-4}$	3,98 %	$2,45.IO^{-5}$	$I,30.IO^{-4}$	2,60 %	$3,09.IO^{-5}$	$I,80.IO^{-4}$	$I,I5.IO^{-4}$	2,30 %
	3°	$9,40.IO^{-4}$	3,63 %	$2,24.IO^{-5}$	$I,40.IO^{-4}$	2,75 %	$3,30.IO^{-5}$	$I,08.IO^{-4}$	$I,I5.IO^{-4}$	2,53 %
	4°	$I,I0.IO^{-4}$	3,76 %	$2,83.IO^{-5}$	$I,44.IO^{-4}$	2,73 %	$3,42.IO^{-5}$	$9,90.IO^{-5}$	$I,20.IO^{-4}$	2,47 %
	5°	$9,40.IO^{-4}$	3,24 %	$2,24.IO^{-5}$	$I,30.IO^{-4}$	2,34 %	$3,09.IO^{-5}$	—	$I,29.IO^{-4}$	3,48 %
P_2	I°	$I,68.IO^{-4}$	0,73 %	$4.IO^{-5}$	$2,I7.IO^{-4}$	0,49 %	$5,I5.IO^{-5}$	—	—	—
	5°	$I,I2.IO^{-4}$	0,7I %	$2,66.IO^{-5}$	$2,08.IO^{-4}$	0,49 %	$5,00.IO^{-5}$	—	$2,00.IO^{-4}$	0,8I %
P_3	4°	$4,84.IO^{-4}$	I,20 %	$I,I5.IO^{-4}$	$6,44.IO^{-4}$	0,87 %	$I,54.IO^{-4}$	$6,40.IO^{-4}$	$6,90.IO^{-4}$	I,29 %
	5°	$4,II.IO^{-4}$	I,06 %	$9,80.IO^{-5}$	$5,83.IO^{-4}$	0,79 %	$I,38.IO^{-4}$	—	$9,80.IO^{-4}$	2,42 %
P_4	4°	$2,39.IO^{-3}$	I,0I %	$5,70.IO^{-4}$	—	—	—	—	—	—

du terrain et du degré d'homogénéité et de l'épaisseur de l'aquifère, de la présence d'éléments grossiers. Vers l'amont ou l'aval du forage (P_5 et P_4) la transmissivité s'accroît car la lentille argilo-silteuse se présente près du forage. Elle provoque la diminution du coefficient d'emmagasinement pour ces piézomètres (voir le tableau n°V et les coupes lithologiques 2éme chapitre de la Ie partie). Les valeurs trouvées pour T et pour S à propos de chacun des piézomètres au cours de six essais de pompage, oscillent seulement entre des limites restreintes : l'ordre de grandeur maximum de T est de $4,80.10^{-4}$ m^2/sec (P_5, 5e essai) et celui de S est de l'ordre de 3,37% (P_I, 2e essai) obtenu par la méthode de Theis et de l'ordre de $T = 6,44.10^{-4}$ m^2/sec (P_3, 4e essai) et de S = 2,85% (P_I, Ie essai) pour la méthode de Jacob. Les valeurs de la transmissivité étant très faibles, cette nappe n'est capable de produire qu'un très faible débit pendant toute une année.

Dans une nappe libre le coefficient d'emmagasinement correspond directement à la porosité effective d'où $S = m_e$, dans cette nappe l'ensemble S trouvé par les méthodes citées ci-dessus ne correspond pas à la porosité effective calculée à l'aide d'échantillons pris à l'endroit même où se trouve P_I. La porosité effective moyenne trouvée au laboratoire est égale à 20,50%. Par conséquent on voit que cette valeur est environ 7 fois plus forte que celle trouvée par l'essai de pompage. Cette dernière valeur est plus raisonnable ; il est donc permis de penser que les méthodes de calcul de S en régime transitoire sont plus valables dans le cas d'une nappe captive que d'une nappe libre.

Recensement des niveaux piézomètriques et fluctuation de la nappe

N°, du forage et des piézomètres	Hauteurs des margelles en mètres	Niveau d'eau en crue I965, par rapport au sol	Niveau d'eau en étiage I965, par rapport au sol	Niveau d'eau en crue par rapport au niveau de mer (N.P.)	Niveau piézomètrique (N.P.) en étiage	Fluctuation saisonnière (différence du niveau entre l'été et l'hiver)
Forage	0,00	5,57	6,50	I5,93	I5,00	I,07
Piéz. I	0,34	5,58	6,46	I5,92	I5,04	0,88
2	0,34	5,60	6,48	I5,90	I5,02	0,88
3	0,33	5,63	6,5I	I5,87	I4,99	0,88
4	0,46	5,65	6,56	I5,85	I4,94	0,9I
5	0,I9	5,5I	6,37	I5,99	I5,I3	0,86
6	0,28	5,64	6,53	I5,86	I4,97	0,89
7	0,20	5,44	6,32	I6,06	I5,I8	0,88
8	0,25	5,53	6,40	I5,97	I5,I0	0,87
9	0,I8	5,64	6,5I	I5,86	I4,99	0,87
I0	0,26	5,73	6,59	I5,77	I4,9I	0,86
II	0,25	5,48	6,37	I6,02	I5,I3	0,89
Puits Préhistoire	0,97	5,30	6,23	I6,20	I5,27	0,95

I/ Niveau piézomètrique et fluctuation de la nappe.

Pour pouvoir construire la courbe de la fluctuation annuelle de la nappe, courbe qui présentait un intérêt certain, nous avons mesuré le niveau d'eau dans le forage et les piézomètres une fois tous les dix jours pendant un an.

Comme on voit sur le tableau ci-dessus, le niveau piézomètrique de cette nappe baisse du sud au nord (de P_5 à P_4), ce qui représente la direction des filets liquides et la pente d'écouelement. Donc la surface de cette nappe descend en été par le manque d'alimentation verticale (alimentation météorique), par évapotranspiration et enfin par le drainage qui est plus intense en été qu'en hiver par les ruisseaux de Serpent et d'Ars situés en amont et en aval de la nappe et ces phénomènes provoquent une augmentation de pente hydraulique en étiage, mais il ne nous semble pas que ce soit une dénivellation supplémentaire entre l'amont et l'aval du forage.

Car nous l'avons bien constaté par les calculs des pentes, basés sur des mesures de niveau en crue et en étiage dans des piézomètres qui sont alignés dans le sens de l'écoulement, quoique le niveau de l'eau dans les piézomètres baisse encore davantage en été, néanmoins, ce niveau ne varie pas beaucoup en amont et en aval du forage, de sorte qu'on voit que dans ces piézomètres soit en été, soit en hiver, le niveau d'eau varie progressivement et assez régulièrement du sud au nord, et en calculant les pentes hydrauliques en période d'étiage et de crue entre les piézomètres P_5 et P_4 installés en amont et en aval du forage, distants de 45 mètres, on voit que ces gradients hydrauliques ne sont pas très écartés :

$$\text{crue} : i = \operatorname{tg}\alpha = \frac{dh}{dl} = \frac{0,14m}{45m} = 3,1\ ‰$$

$$\text{étiage} : i = \operatorname{tg}\alpha = \frac{dh}{dl} = \frac{0,19m}{45m} = 4,2\ ‰$$

Ce qui veut dire que lorsque la surface de la nappe se déplace verticalement, celle-ci ne reste pas parallèle à elle-même. La

fluctuation du niveau n'est pas égale dans tous les puits pendant le même temps et ce cas présente une direction divergente pour les filets liquides vers le nord et le sud (direction de drainage causée par les ruisseaux cités ci-dessus)

2/ Variation du niveau et caractéristiques physico-chimiques de la nappe plio-quaternaire.

Les mesures mensuelles du pH, résistivité, chlore, carbonate et bicarbonate et les mesures continuelles de la pluviométrie et de la variation du niveau d'eau dans chaque puits nous ont permis de dresser les courbes concernant la variation de ces phénomènes pour la nappe en question. Ensuite nous avons construit les courbes représentant la variation annuelle de février I965 à mars I966 de ces caractéristiques pour le forage et la première rangée de piézomètres (P_I, P_3, P_4, P_5), et le puits préhistoire sur les planches 30 - 35, et celle de la variation de la teneur en chlore pour les piézomètres (2, 6, 7, 8, 9, I0, II) sur la planche n°36 en vue de leur comparaison.

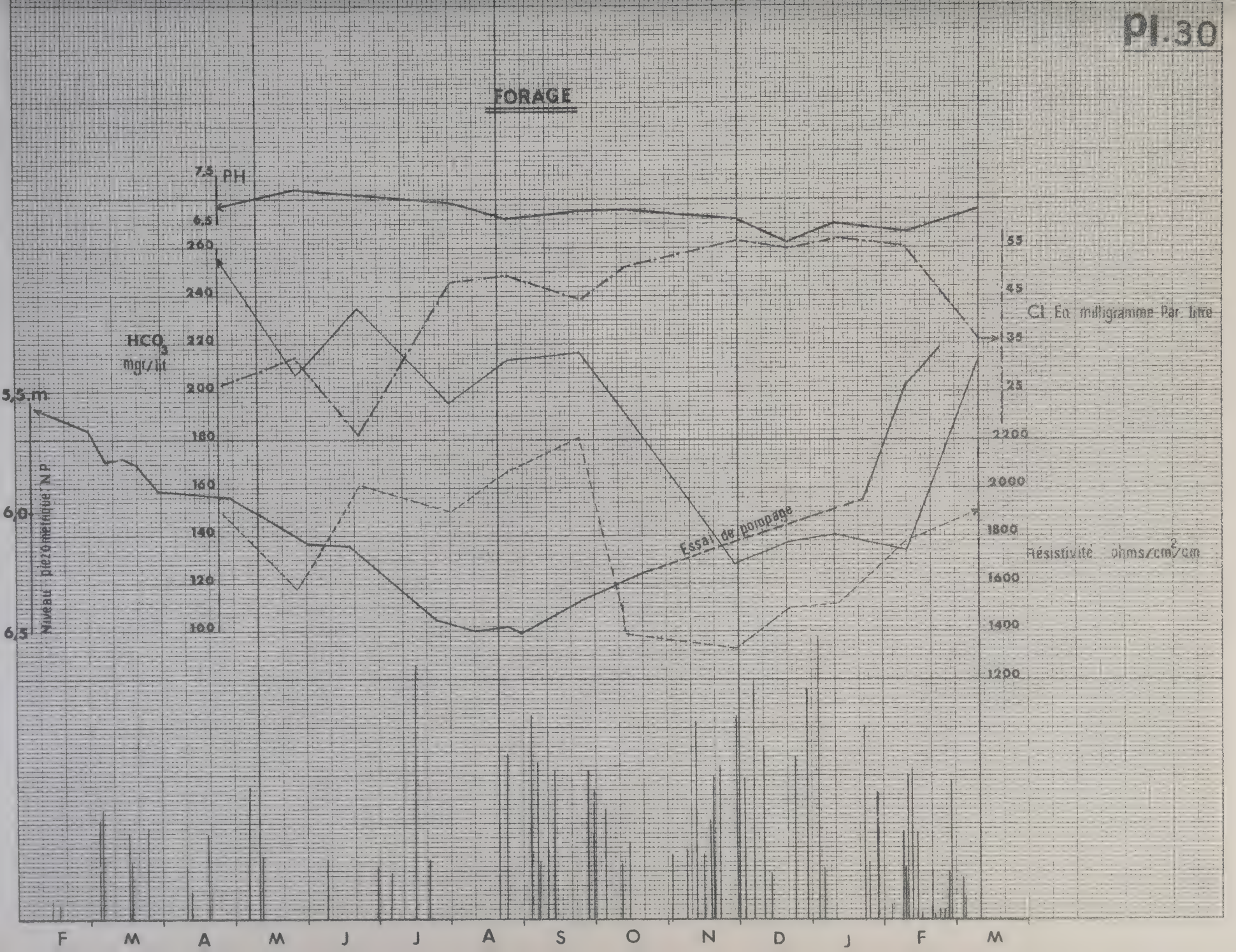
Sur ces planches nous avons porté la fluctuation annuelle du niveau piézomètrique dans chaque puits en mètre (N.P. en m.), la pluviométrie en mm, la résistivité en ohms/cm^2/cm amenée à 20°C, le pH du milieu, l'ion chlore en milligramme par litre, et l'alcalinité en méthylorange pour ($pH < 8,3$) et l'alcalinité à la phénolphétaléine pour ($pH > 8,3$)

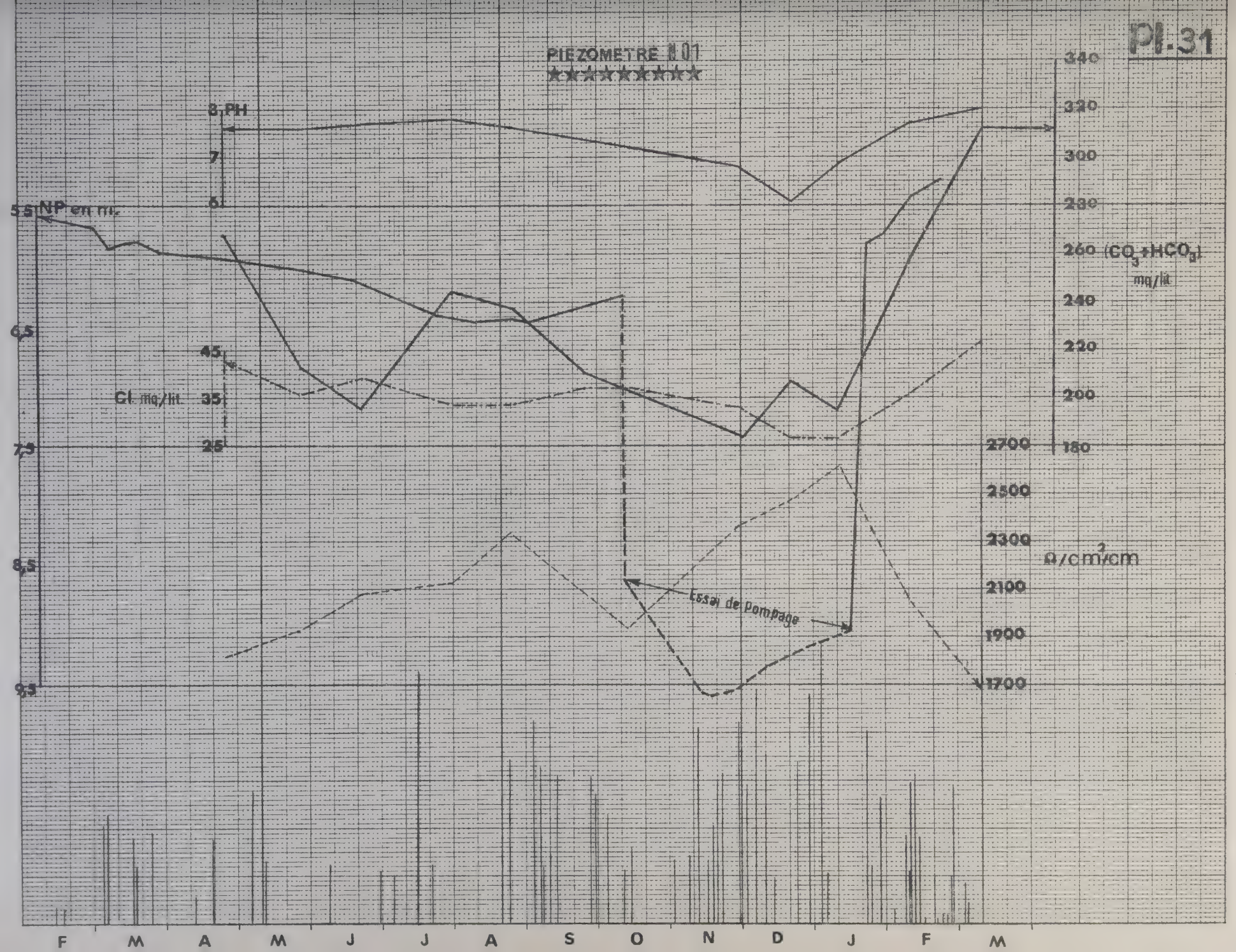
Il est vrai qu'au cours du sixième essai de pompage, comme nous l'avons dit, jusqu'au 40^e jour le niveau d'eau baissait dans tous les piézomètres observés ; même le puits préhistoire, pendant environ un mois (du I7 novembre au II décembre I965) a été à sec ; c'est pour cela que nous avons tracé le niveau de la nappe en pointillé, pour le temps de ce dernier essai trimestriel.

3/ Etiage et crue de la nappe.

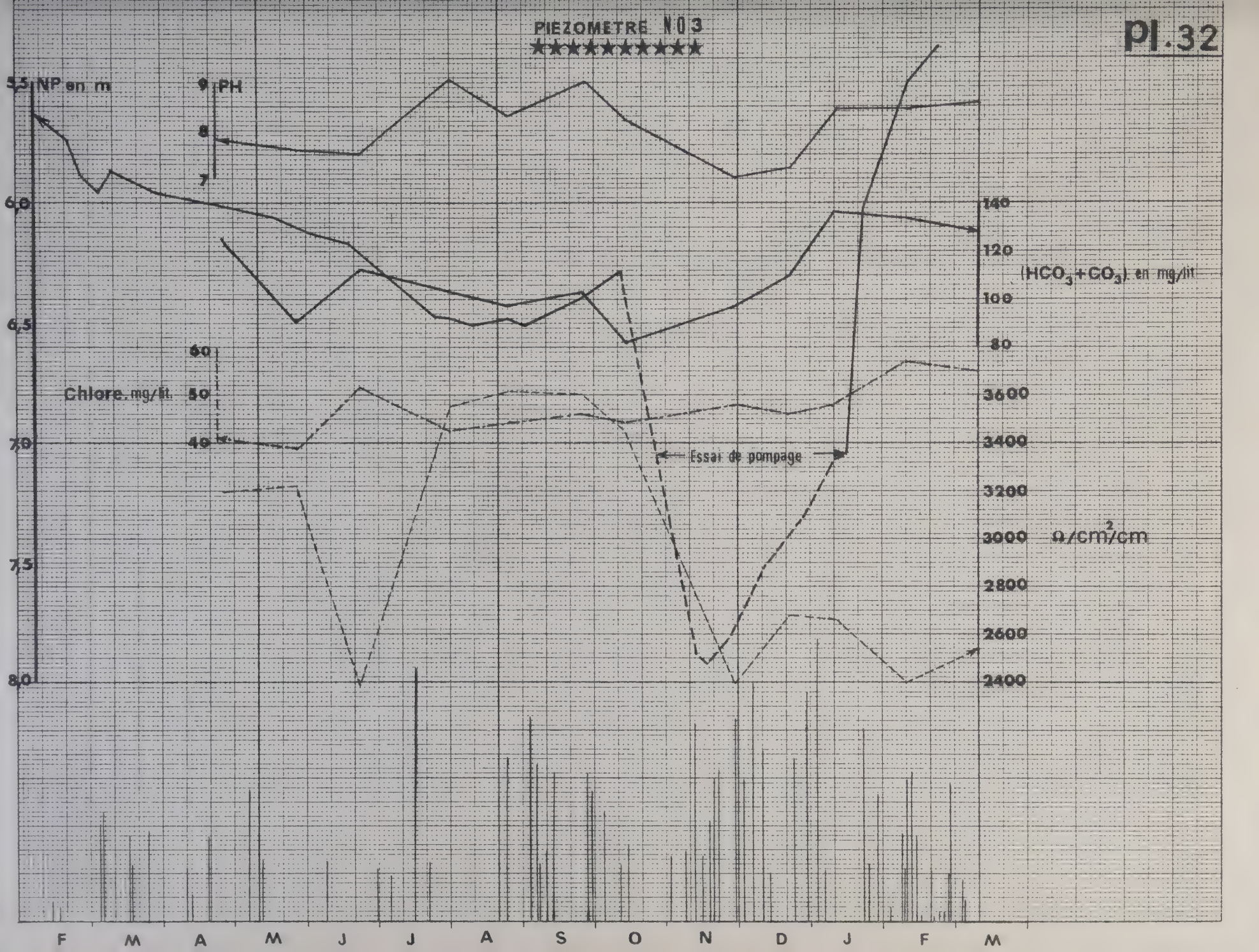
Nous pouvons facilement apercevoir par les courbes de la fluctuation du niveau dans chaque puits, la saison d'étiage (entre août

Pl.30

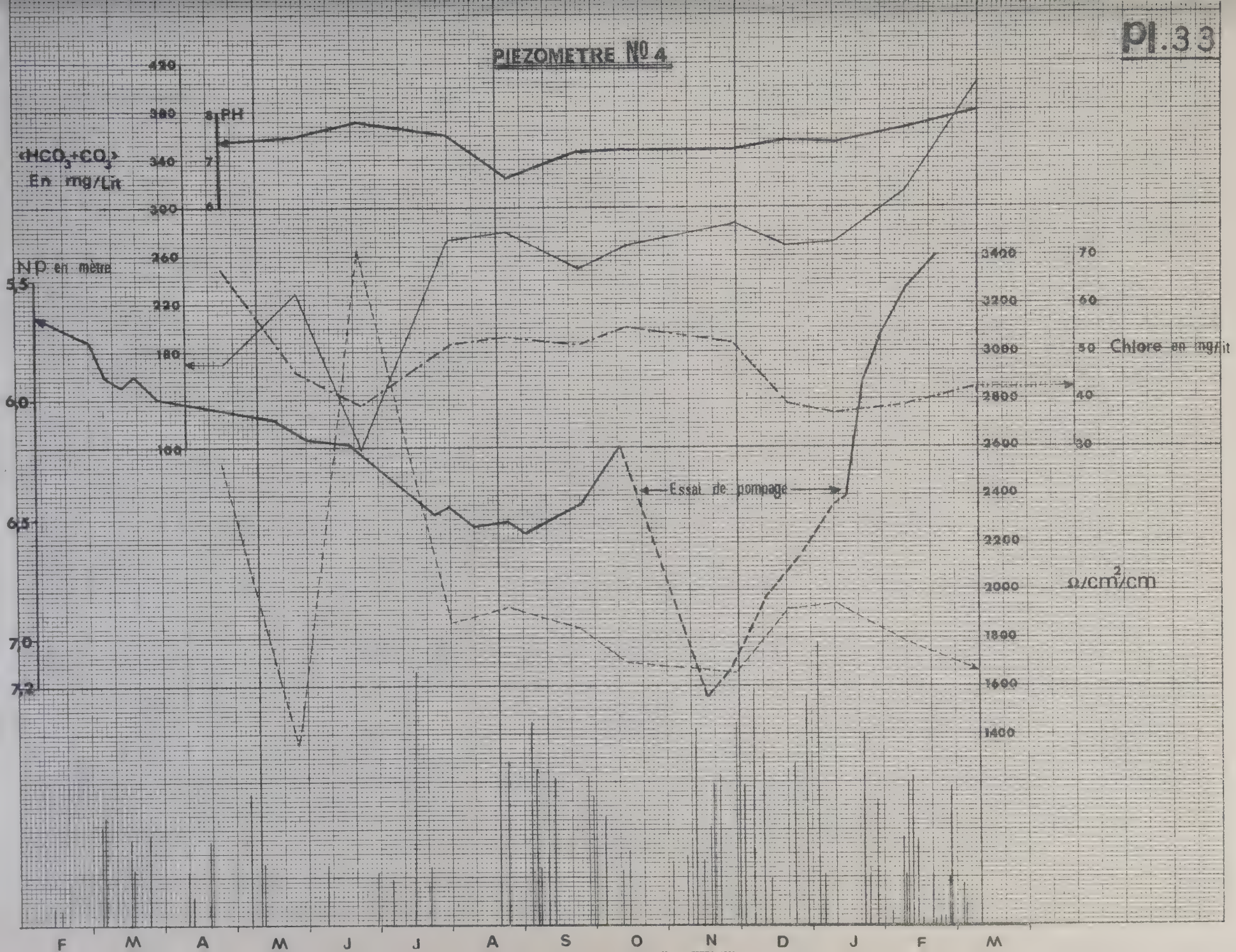

FORAGE
7,5 PH
6,5
260
240
220
200
180
160
140
120
100
HCO3 mg/lit
5,5 m
6,0
6,5
Niveau piézométrique NP
Essai de pompage
55
45
Cl En milligramme Par litre
35
25
2200
2000
1800
1600
1400
1200
Résistivité ohms/cm²/cm
F M A M J J A S O N D J F M


PI-31
PIEZOMETRE 101
8 PH
7
6
NP en m.
55
6,5
7,5
8,5
9,5
Cl mg/lit.
45
35
25
340
320
300
280
260
240
220
200
180
(CO_3+HCO_3) mg/lit
2700
2500
2300
2100
1900
1700
Ω/cm²/cm
Essai de pompage
F
M
A
M
J
J
A
S
O
N
D
J
F
M

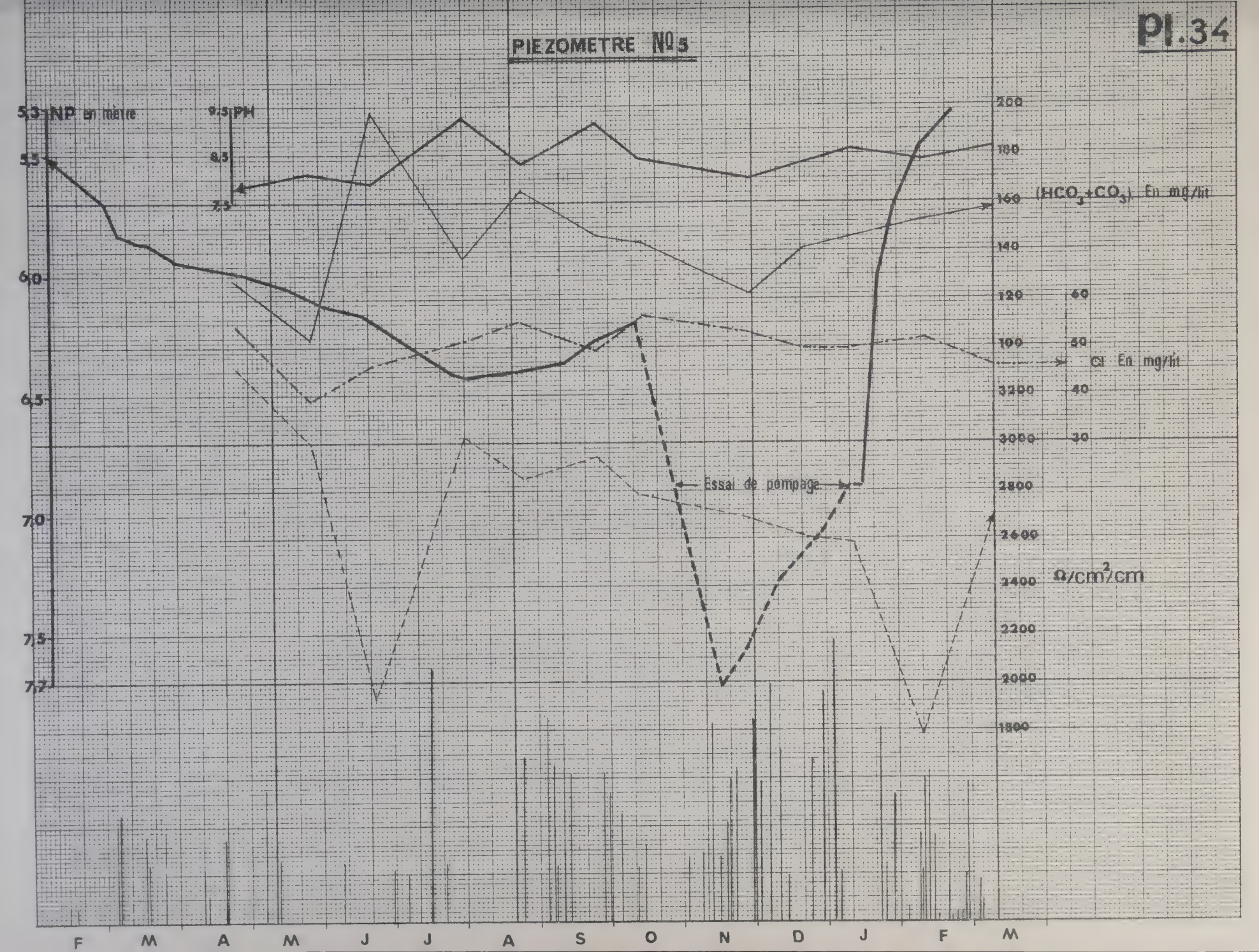
PIEZOMETRE N03
★★★★★★★★★★

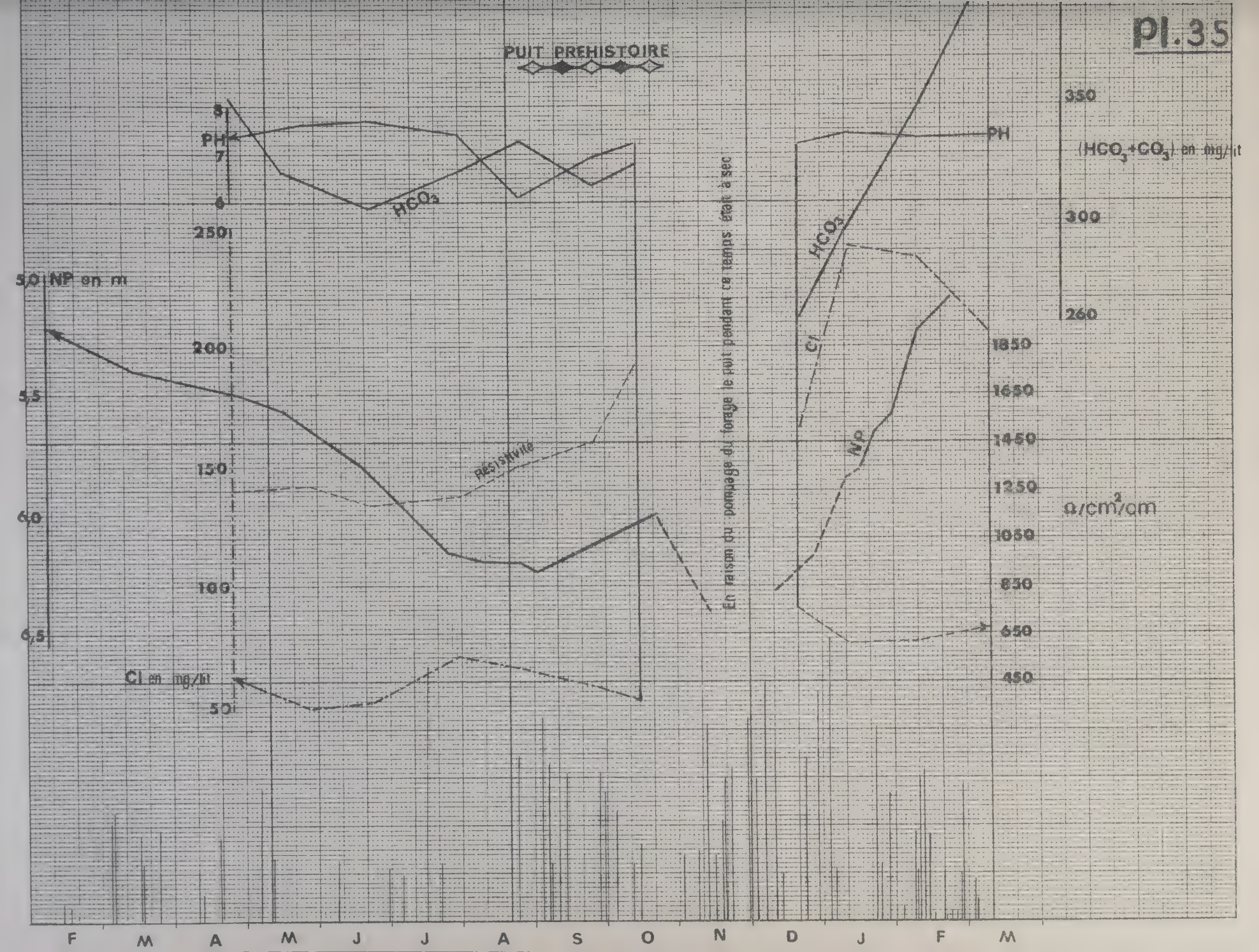


PIEZOMETRE N° 4



PIEZOMETRE N°5




PUIT PREHISTOIRE
PH
HCO3
NP en m
Cl en mg/lit
RESISTIVITE
En raison du pompage du forage le puit pendant ce temps était à sec
(HCO3+CO3) en mg/lit
Ω/cm²/cm
F
M
A
M
J
J
A
S
O
N
D
J
F
M

et septembre) et la saison de crue (entre février et mars) correspondant à l'alimentation de cette nappe.

4/ Variation de la teneur en chlore de la nappe.

En période d'étiage la teneur en chlore de la nappe augmente quantitativement car, à la suite des pertes par évapotranspiration les différents sels de l'eau dans la nappe se concentrent lors de leur parcours souterrain, il en est donc de même pour le chlore.

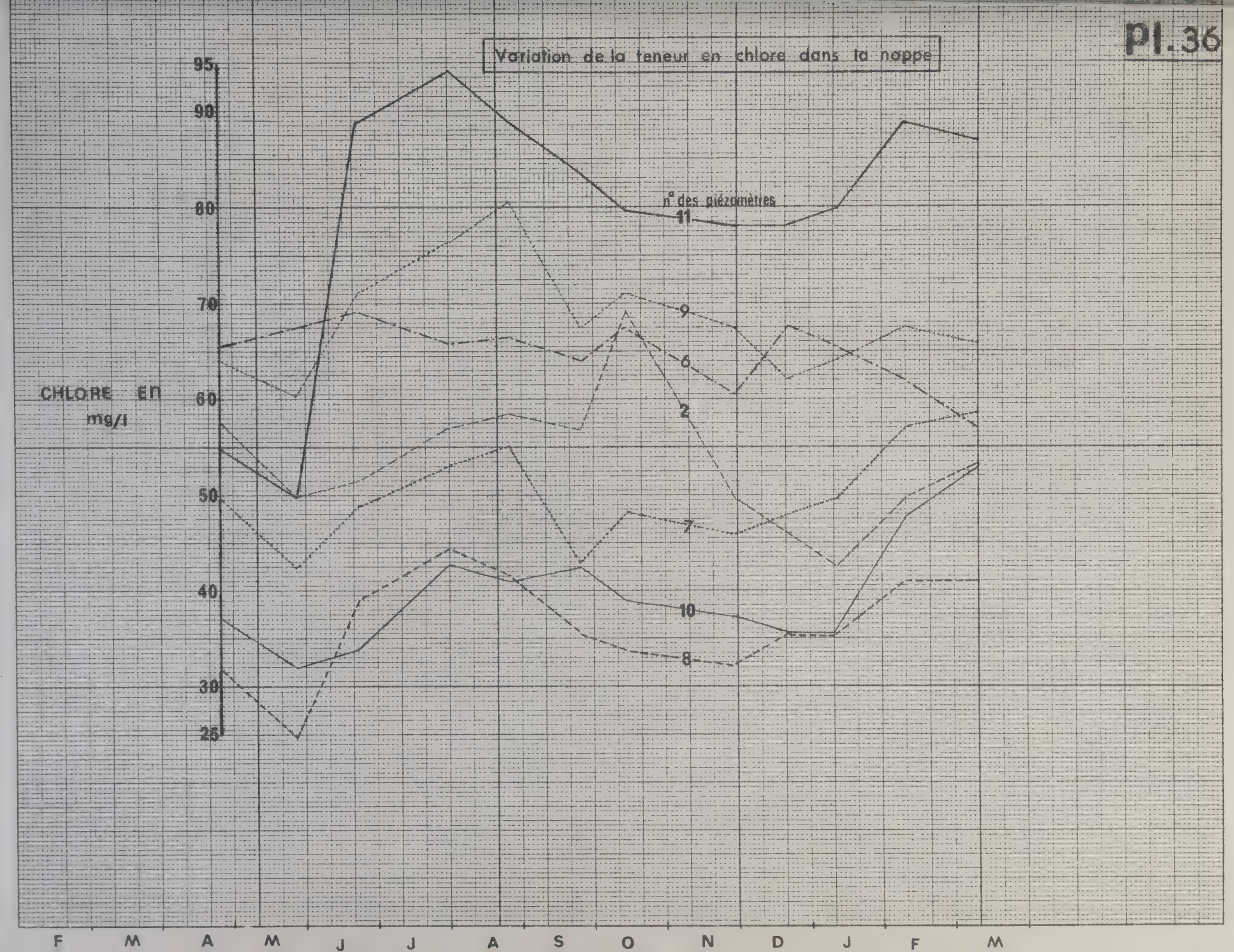
Nous pouvons dire schématiquement qu'il y a une augmentation de la teneur en chlore de l'eau de la nappe entre août et septembre à cause de l'évapotranspiration et le deuxième palier de cette augmentation coïncide avec les mois d'octobre et de novembre, au début de la cure, ceci est dû au lessivage des premières pluies d'automne qui prennent de nouveau le chlore précipité dans le sol lors de l'évapotranspiration qui a eu lieu en été. De décembre à février la teneur en chlore au contraire va diminuer, car les sels de l'eau de la nappe se dissolvent sous l'influence de l'eau de pluie qui alimente la nappe.

5/ Variation de la teneur en carbonate et bicarbonate de la nappe.

L'eau de la nappe est assez chargée en CO_3Ca et ceci pourrait être dû au long contact de l'eau des alluvions avec le substratum calcaire Stampien. Durant la période de crue, il y a une décroissance de la teneur en ion $HCO_3 + CO_2$. Pendant l'étiage en régle générale, la concentration en bicarbonate (combiné) augmente alors que le niveau baisse, ceci s'explique par le fait que la teneur en CO_2 n'atteint son maximum qu'en automne.

-=-=-=-=-

Variation de la teneur en chlore dans la nappe



T R O I S I E M E P A R T I E

MESURE DE L'HUMIDITE PAR METHODE NUCLEAIRE

-=-=-=-=-=-

C H A P I T R E - I

-=-=-=-=-=-

- METHODE NEUTRONIQUE -

La méthode "Neutronique" permet des mesures rapides, précises et répétées de la teneur en eau du sol, ainsi que l'étude pratique et facile de l'évolution et du mouvement de l'eau dans le terrain, on peut en déduire l'évapotranspiration et le gradient d'humidité.

Ceci a une importance particulièrement grande pour les études et les prévisions d'alimentation en eau des cultures en fonction des réserves contenues dans le sol.

- Fonctionnement : l'appareil que nous avons utilisé est du type "Nucléaire Chigago" et il comprend :

- une source radioactive Ra - Be de 5 millicuries, placée dans une sonde de 38mm de diamètre.
- un détecteur de neutrons thermiques à $B F_3$, qui utilise l'émission spontanée et un préamplificateur
- une échelle de comptage, type 2 800 A.
- un étui protecteur pour la sonde, formé par un blindage en plomb et paraffine. La source radioactive émet 6.10^{-4} neutrons rapides par seconde, principalement par une réaction des rayonnements α du radium sur une cible béryllium

$$ {}^{4}_{2}He + {}^{9}_{4}Be \longrightarrow {}^{12}_{6}C + {}^{1}_{0}n + 5,65 \text{ Me V} $$

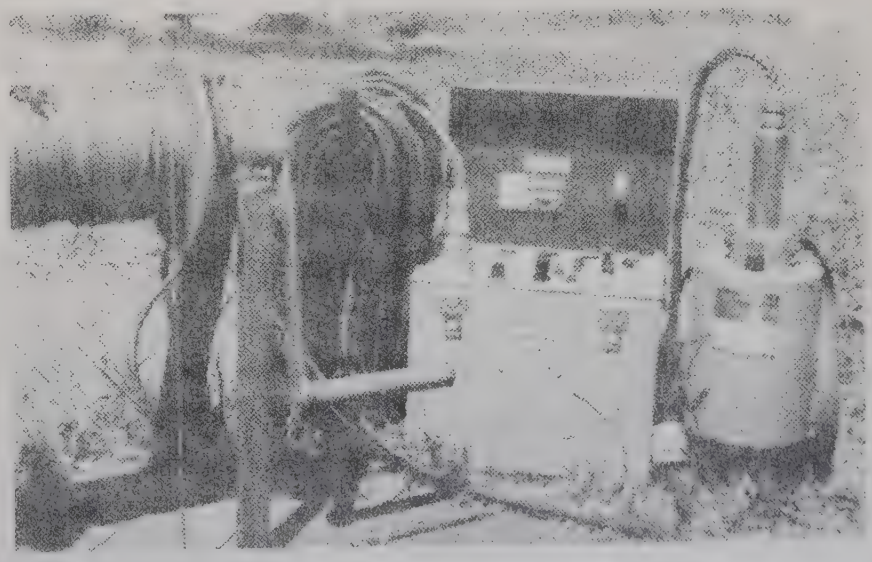
La vitesse du neutron rapide est de $3,3.10^{7}$ m/sec. Le radium ayant une période de I 620 ans, toute variation de flux neutronique à l'échelle d'une année peut être considérée comme négligeable.

Un compteur rempli de gaz trifluorure de bore enrichi en $^{10}_{5}B$ détecte les neutrons thermiques. Par réaction nucléaire d'un neutron thermique sur un atome de bore, il est émis une particule α qui déclenche une impulsion aux bornes du compteur :

$$^{1}_{0}n + {}^{10}_{5}B \longrightarrow {}^{7}_{3}Li + {}^{4}_{2}He + 2,50 \text{ Me V}$$

Les neutrons thermiques ont une vitesse de $2,2.10^{3}$ m/sec et une énergie égale à 0,0025 Me V. Si nous plaçons la source à neutrons dans le sol, ils bombarderont les noyaux d'hydrogène dont la masse est sensiblement égale à la leur, et seront rapidement ralentis ou "thermalisés". Il y aura donc autour d'une source émettrice de neutrons rapides un nuage de neutrons "thermalisés" d'autant plus dense que la teneur en hydrogène du milieu sera plus grande.

En mesurant cette densité plus ou moins élevée de neutrons thermalisés par le compteur de l'appareil (nombre des impulsions) il sera possible de connaître la quantité plus ou moins grande d'atomes d'hydrogènes contenus dans le milieu.



La sonde nucléaire chigago au cours de la mesure référence étui, pour le tubage n°I.

- REMARQUE -

L'appareil mesure à la fois le nombre de noyaux d'hydrogène d'eau mais aussi ceux contenus dans les matières organiques.

L'humidité du sol correspond aux nombres d'impulsions représentant les noyaux d'hydrogène contenus dans l'eau. Certains éléments ont la propiété de capturer fortement les neutrons, en particulier, Cd, B, Li, Cl. Le nombre de coups correspond à l'hydrogène du milieu, à condition que le sol soit dépourvu des éléments mentionnés ci-dessus.

- Sphère d'influence -

La sonde à neutrons explore un volume sensiblement sphérique de matériau, cette sphère d'influence du rayonnement des neutrons dépend de la teneur en eau ou en hydrogène du milieu aqueux et peut être donnée par l'expression : $R_{cm} = I,5 \sqrt[3]{\frac{100}{Hv}}$, dans laquelle R représente le rayon d'influence en cm, et H_V l'humidité volumique ; R varie entre I5 et 70cm.

Le détecteur est principalement influencé par les couches de matériau qui sont les plus proches. Une faible variation du diamètre du sondage peut également amener une forte variation du taux de comptage. Lorsque la sonde est proche de la surface du sol, cette sphère sort du milieu dont on veut mesurer le taux d'humidité et les valeurs seront faussées par défaut. Les mesures ne sont donc valables qu'à partir de profondeurs supérieures à 30 cm.

- MESURE DE REFERENCE DE L'ETUI ET CONVERSION DES VALEURS "R" EN TAUX D'HUMIDITE REELLE H_V :

Les valeurs sont données en impulsions par seconde (imps/sec), correspondant au nombre de neutrons thermiques détectés par le compteur par seconde. Les caractéristiques de tout appareil électronique demeurent susceptibles de subir certaines variations imprévisibles lors du fonctionnement. Pour éviter ce risque, la mesure faite dans le sol soit

(x imps/sec) sera rapportée à une mesure faite sur un milieu de référence (y imps/sec). Le résultat de la mesure sera exprimé par la valeur :

$$R = \frac{x \text{ imps/sec}}{y \text{ imps/sec}}$$

Nous avons fait une mesure de référence étui au début du relevé de chaque profil hydrique et une autre à la fin et ensuite nous prenions la moyenne (m) de ces taux de mesures d'étui de sorte que :

$$R = \frac{\text{imps/sec}}{m}$$

La courbe d'étalonnage permettra d'obtenir la valeur de l'humidité volumique en fonction de R.

- INSTALLATION DES TUBAGES -

Le Centre d'Hydrogéologie a fait installer 6 tubages en acier inoxydable de diamètre 4I - 43mm. Ils sont terminés par un embout conique pour permettre une introduction facile dans le sol, et la profondeur de ceux-ci varie de 8,89m à 7,3Im par rapport au sol, leur emplacement est donné sur la planche n°2. Nous avons noté sur le tableau ci-dessous les caractéristiques de ces tubages, en mètre.

N° des tubages	I	2	3	4	5	6
Distance du forage	0,80	3,25	6,50	8,20	I,50	8,30
Hauteur d'emplacement de la source	0,I0	0,I0	0,I0	0,I0	0,I0	0,I0
Hauteur totale du tubage	9,09	8,I4	7,74	7,58	7,68	7,55
Hauteur dans l'air du tubage	0,I0	0,20	0,23	0,I7	0,08	0,I3
Hauteur moyenne du tubage	8,89	7,87	7,4I	7,3I	7,50	7,32

- ETALONNAGE DE LA SONDE -

Un étalonnage sommaire a été effectué dans certains milieux connus :

- eau ayant une humidité = I00%
- sable sec ayant une humidité $\simeq$ 0
- sable humide et saturé.

I°/ Etalonnage en milieu I00% humide -

Nous avons placé la sonde dans un tube d'accès de dimensions standard (tubage en acier inoxydable de diamètre 4I - 43mm avec une extrémité bien fermée), de I,I0m. de hauteur dans un réservoir de Im de hauteur, plein d'eau. Nous avons mesuré le nombre d'impulsions pendant quatre minutes en déplaçant la sonde chaque fois de I0cm et nous avons pris R = 3,62. Le tableau suivant indique les résultats obtenus.

Profondeur de la sonde	$\frac{i}{4 \text{ minutes}}$	$\frac{i}{\text{sec}}$	R
référence étui	I7 706	73,77	
0,30 m.	64 I58	267,32	3,62
0,40	64 I4I	267,25	3,62
0,50	64 303	267,92	3,63
0,60	64 599	269,I6	3,65
0,70	64 492	268,72	3,64
0,80	62 699	26I,25	3,54
référence étui	I7 676	73,65	

N.B. : si l'on compte pendant 2 minutes on obtient une précision suffisante de 0,80% pour toutes les teneurs en eau volumique inférieures à 50%

2°/ Etalonnage en milieu ayant une humidité $\simeq$ 0.

Dans un bidon hermétique ayant 0,86m de hauteur nous avons placé une épaisseur de 0,I0m. de gravier parfaitement sec et sur ceci

nous avons tendu un treillis fin, inoxydable. Un tube identique à celui de l'expérience précédente mais de 0,87m. de hauteur a été ensuite mis en place. Le bidon a été rempli de sable sec, nous avons mesuré le nombre d'impulsions pendant 4 minutes tous les I0cm et le "rapport moyen" observé correspondant à toutes les mesures était égal à $R = I,6.I0^{-2} \frac{imps/sec}{m}$, (voir tableau ci-dessous). Notons que selon la théorie nous devons trouver une valeur nulle du nombre d'impulsions pour un milieu tout à fait sec et dépourvu de sol et matières organiques.

Profondeur de la sonde	$\frac{imps}{4\ minutes}$	$\frac{imps}{sec}$	R
référence étui	I7 903	74,59	
0,30 m	265	I,I0	$I,47.I0^{-2}$
0,38	265	I,I0	$I,47.I0^{-2}$
0,48	286	I,I9	$I,60.I0^{-2}$
0,58	297	I,24	$I,66.I0^{-2}$
0,68	327	I,36	$I,82.I0^{-2}$
référence étui	I7 860	74,4I	

- ETALONNAGE EN MILIEU POREUX ET SATURE -

Au centre de la base inférieure du bidon utilisé au cours de l'expérience précédente se trouve un robinet vertical, auquel est fixé un tuyau de plastique dont l'autre extrémité plonge dans un seau plein d'eau. A 3cm au-dessus de la base inférieure du bidon, sort un tube à angle droit de 2cm de diamètre sur lequel nous avons fixé un autre tube en plastique transparent afin de voir le niveau de l'eau (tube témoin). Après plusieurs remplissages successifs jusqu'à une hauteur de 40cm, nous avons attendu que la frange capillaire soit constituée, à ce moment là le niveau était situé à 25cm du fond. Ainsi dans le bidon nous obtenions deux parties

I°) une partie saturée de l'eau dans le fond du bidon

2°) la partie humide représentant la frange capillaire

Nous avons mesuré les impulsions pendant 4 minutes tous les IOcm du tube passant par les deux milieux et calculé les rapports (R) pour les deux milieux considérés. (confer tableau suite).

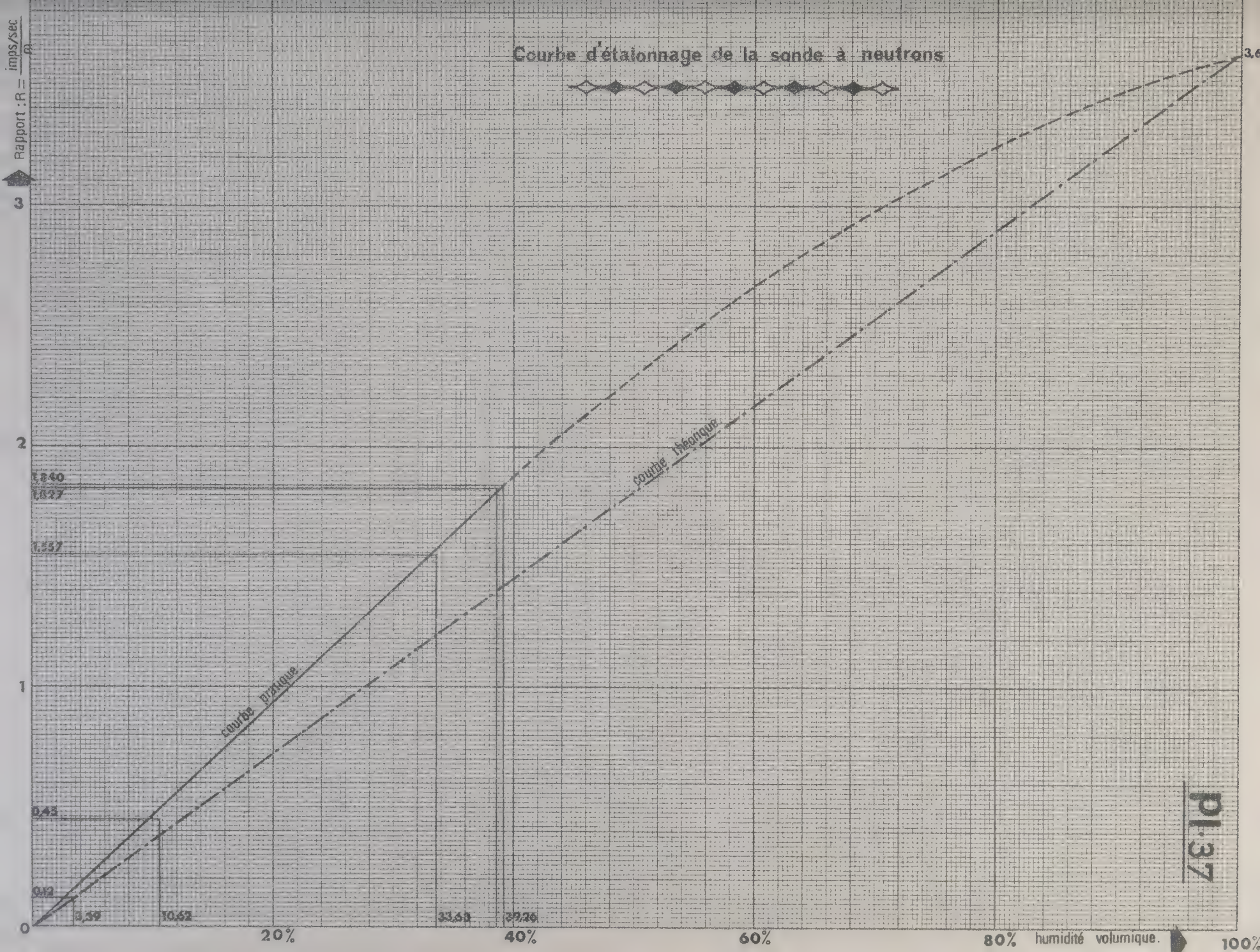
Profondeur	imps / 4 minutes	imps / sec	R	Obervation
réf. étui	I7 924	74,69		
0,30 m	2 I52	8,97	0,I20	Frange capillaire
0,38	8 088	33,70	0,450	
0,48	27 8I8	II5,9I	I,557	
0,58	32 848	I36,86	I,839	Partie saturée
0,68	32 637	I36	I,827	
Réf.étui	I7 799	74,I5	—	

Ensuite pour la même profondeur, nous avons mesuré l'humidité en volume par séchage de l'échantillon à l'étuve. Les valeurs trouvées sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Profondeur en mètre	Poids humide en grs	Poids sec en grs	volume du sable sec	volume d'eau en cm^3	humidité en %	R
0,25 - 0,33 0,30	200	I96	II8 cm^3	4	3,39	0,I20
0,33 - 0,43 0,38	200	I88,I	II2	II,9	I0,62	0,450
0,43 - 0,53 0,48	200	I65,7	I02	34,3	33,63	I,557
0,53 - 0,63 0,58	200	I6I,4	98,3	38,6	39,26	I,839
0,63 - 0,73 0,68	200	I62	98,5	38,0	38,57	I,827

- Courbe d'étalonnage : Pl.37

La courbe théorique est obtenue à partir des puits d'humidité volumique égale à 0 et I00%. Les mesures de l'humidité des


Courbe d'étalonnage de la sonde à neutrons
Rapport : R = imps/sec / Pi
3
2
1
0
3,6
courbe théorique
courbe pratique
1,840
1,827
1,557
0,43
0,12
3,39
10,62
33,63
39,26
20%
40%
60%
80%
humidité volumique.
100%
Pl. 37

échantillons à l'étuve et les valeurs des rapports (R) qui leur correspondent, permettent de tracer une courbe pratique. Celle-ci est sensiblement une droite si l'humidité est inférieure à 40%. Etant donné que la porosité mesurée sur 94 échantillons provenant de la nappe que nous étudions était comprise entre 24% et 34% (sauf 8 échantillons qui avaient une porosité égale à 35% ainsi que pour la lentille argileuse dont la porosité atteignait 39%). La première portion de courbe pratique représentée par un trait plein permettait de mesurer le taux d'humidité réelle vu que nous connaissons le nombre des coups mesurés par la sonde à neutrons.

-=-=-=-=-

C H A P I T R E - I I

DETERMINATION DE L'HUMIDITE DU SOL PAR LA SONDE A NEUTRONS

-=-=-=-=-=-

- PROFILS HYDRIQUES OBTENUS PAR LA METHODE NUCLEAIRE -

Pour déterminer la teneur en eau du sol de la nappe qui fait l'objet de notre étude, nous avons appliqué la méthode de l'humidimètre à Neutrons sur six tubages mentionnés dans le tableau de la page 76. Les mesures ont été effectuées d'une façon très précise à partir de juin 1965 jusqu'à janvier 1966. Nous avons mesuré une fois tous les dix jours environ l'humidité du sol à chaque station. La distance verticale entre chaque point de mesure était 25cm sauf pour les mesures effectuées au cours du mois de juin pour lesquelles elle était de 50cm.

Afin d'obtenir une meilleure précision, nous avons compté le nombre des impulsions pendant 4 minutes ou plus, puis nous avons calculé le nombre de coups par seconde (imps/sec). De plus, au début et à la fin de chaque mesure pour chacun des tubages, nous avons déterminé "la mesure de référence étui" et nous avons pris la moyenne (m) de cette mesure.

En divisant le nombre d'impulsions par seconde par la (m), nous avons trouvé la valeur du rapport : $R = \frac{imps/sec}{m}$ pour chaque point mesuré. La courbe d'étalonnage nous a permis d'avoir les taux d'humidité volumique correspondant (Hv). Pour simplifier les graphiques des profils hydriques, étant donné que les valeurs obtenues une fois tous les dix jours n'oscillaient qu'entre de faibles limites, nous n'avons porté qu'un profil hydrique pour chaque mois.

- REMARQUE IMPORTANTE : Nous avons construit les graphiques en portant sur l'abscisse les valeurs (R) de l'humidité considérée et nous avons joint à

ces valeurs les taux de l'humidité volumique (Hv) déterminés par la courbe d'étalonnage à partir de R. Le niveau piézomètrique au cours de chaque mesure est exprimé à (N P) en mètre.

- les valeurs de (R) sont définitives et relativement précises
- les valeurs de (Hv) sont toujours susceptibles d'être améliorées par un meilleur étalonnage de l'humidité dans le milieu considéré
- sur l'ordonnée nous avons porté les valeurs des stations de mesure en fonction des profondeurs.

- PROFILS HYDRIQUES DU TUBAGE N°I. Pl.38 - 39 -

coordonnées Lambert : X = 368,05 Y = 282,76 Z = 2I,5m N.G.F.

Les mesures d'humidité ont été effectuées entre juin I965 et janvier I966 à une hauteur égale à 8,90m. Cependant lors des mesures du premier profil le 28.6.65 la nappe était en cours d'exploitation. Il en était de même entre le I2 octobre I965 et le I5 janvier I966. Le niveau piézomètrique (N.P.) de la nappe mesuré dans le piézomètre n°I était situé à I,50m. de distance du forage tandis que le tubage n°I était placé à 0,80m

Nous avons également porté sur les planches des profils hydriques, les résultats obtenus lors de la mesure des capacités de rétention (microporosité) des sédiments, (cf tableau n°3 de la page 18) et nous voyons que l'évolution et le mouvement de la teneur en eau du sol correspond corrélativement à la capacité de rétention. L'examen des profils hydriques obtenus montre très nettement l'existence de 4 zones.

- La partie saturée (ou proche de la saturation lors des pompages) est située entre 6,30m et 9m. L'humidité volumique est en moyenne de 30% mais peut atteindre 33%. Les valeurs sont un peu plus faibles que celles obtenues par la mesure de la porosité sur échantillons. Cette différence s'explique par le manque de précision de la mesure de la porosité totale par la méthode de tassement. Les profils n°2, 3 et 4 effectués

Pl·38

METHODE «NEUTRONIQUE»

PROFIL HYDRIQUE DU TUBAGE N° 1

Profondeur en m

Rétention spécifique %

1 —— 28-6-65 NP 9,08m

2 ---- 24-7-65 // 6,41

3 —— 10-8-65 // 6,46

4 —— 25-9-65 // 6,33

NP par rapport au sol

0

1 sables + graviers

2

sable marron

3

sable jaune

4 sable beige

sable marron

5

sable beige

sable marron

6

sable jaune

silt + argile

7

sable jaune

8

sable beige

9

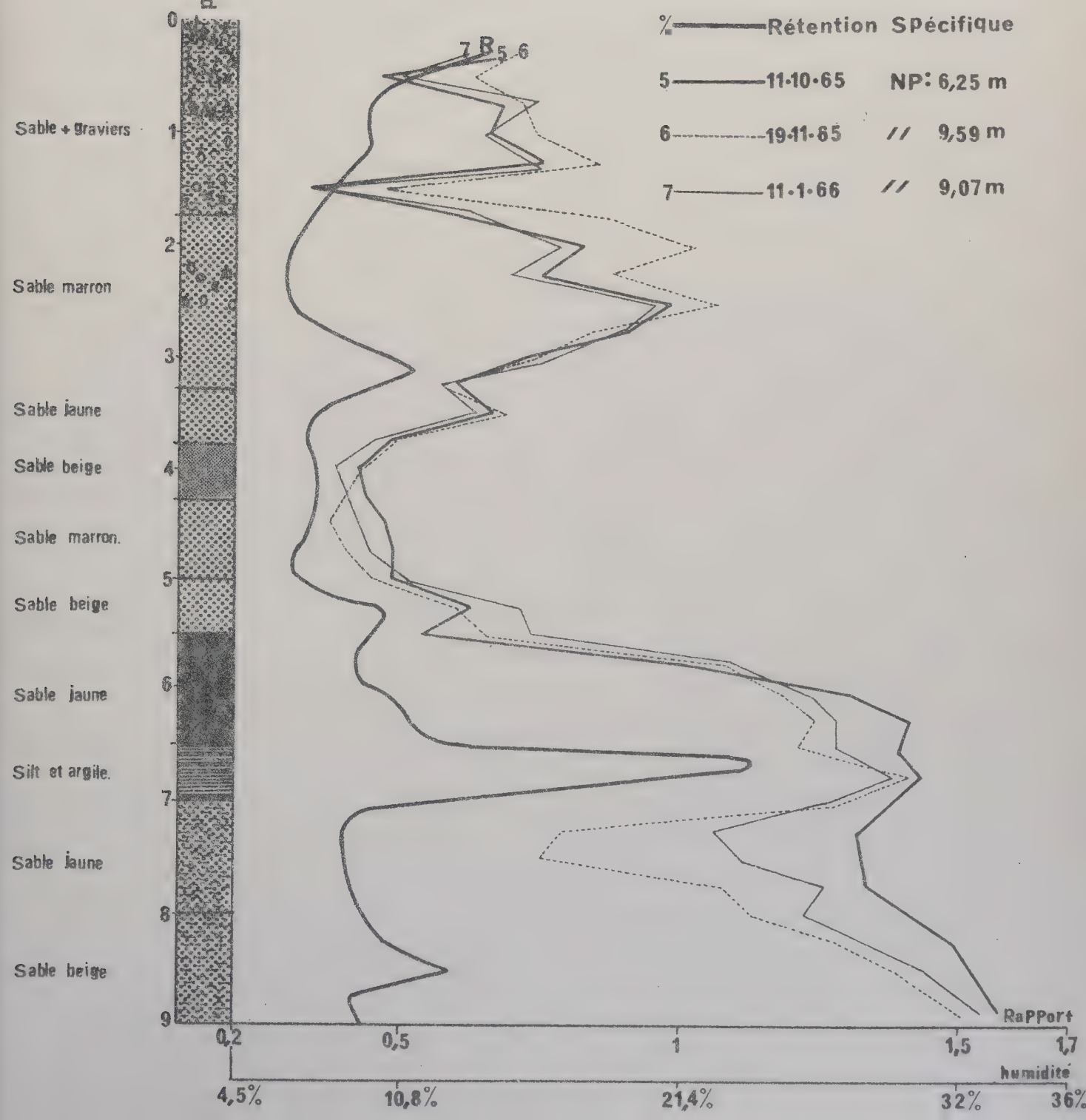
3 1 2 4

0,2 0,7 1,2 R

4,5% 15% 26% H_v

Application Nucléaire dans la détermination de l'humidité du sol

PROFIL HYDRIQUE DU TUBAGE NO 1



lorsque la zone est complètement saturée et que la nappe est en repos, devraient indiquer les mêmes valeurs, les différences que nous constatons permettent d'avoir l'ordre de grandeur de l'erreur systématique entraînée par la mesure de l'humidité. Cette erreur est de l'ordre de I à 2%.

- La frange capillaire : située entre 6,30m. et 5,60m. environ, l'humidité moyenne est de l'ordre de 20%. La faible amplitude des variations du niveau de la nappe et par conséquent celle de la frange capillaire ne permettent pas en raison de l'intervalle important (25cm) entre les parties de mesure de suivre exactement dans le temps les fluctuations des niveaux de la nappe et de la partie supérieure de la frange capillaire.

- La zone de rétention : elle commence à 5,60m. de profondeur et se termine à environ I,50 mètre sous le sol. Dans celle-ci on peut constater que les variations les plus importantes de l'humidité se produisent dans la partie supérieure jusqu'à 3 mètres du sol. Ensuite elles sont réduites et n'interviennent que de 4 à 5 mètres de profondeur. Pour ces deux horizons la capacité de rétention est soit maximum, soit minimum. Entre I,5m et 3m., elle atteint I0% pour une formation de sable-argileux dont la perméabilité est réduite par rapport à celle des horizons sous-jacents (cf. Tableau n°3), tandis que de 4 à 5 mètres la perméabilité est plus élevée. Au cours de la période sèche, l'eau de cet horizon va tendre à le quitter, mais en hiver l'apport dû à la pluie va tendre à augmenter l'humidité. Malgré tout cet apport sera ralenti lors de son passage dans la zone à forte rétention qui commencera par augmenter d'abord ses réserves.

- La zone d'aération : située entre I et I,50m de profondeur. De grandes variations de l'humidité s'y manifestent. Celle-ci descend bien en-dessous de la capacité de rétention spécifique. La transpiration par la végétation herbeuse dont les racines atteignent une profondeur de I mètre, ainsi que l'évaporation et hétérogénéité des éléments (mélange de sable, de gravier et de poussières argileuses) cause des variations de la teneur en eau constatée dans cette zone. Nous avons rassemblé dans les tableaux suivants les valeurs de R, de Hv et en ce qui concerne la teneur maximum, minimum et moyenne en eau du sol pour la période étudiée.

TUBAGE N°I - TAUX DE R ET H_V

Profondeur en mètre	R	H_V %	R	H_V %	R	H_V %
	28 - 6 - 65		24 - 7 - 65		IO - 8 - 65	
0,30	0,3I	6,8	0,58	I2,4	0,27	5,8
0,50	0,23	5	0,44	9,40	0,22	4,8
0,75	—	—	0,3I	6,8	0,39	8,3
I,00	0,47	IO,2	0,46	IO	0,48	IO,4
I,25	—	—	0,47	IO,2	0,5I	II
I,50	0,53	II,4	0,56	I2	0,37	8
I,75	—	—	0,3I	6,8	0,37	8
2,00	0,62	I3,2	0,53	II,4	0,56	I2
2,25	—	—	0,60	I3	0,57	I2,2
2,50	0,58	I2,4	0,55	II,8	0,66	I4,2
2,75	—	—	0,90	I9,2	0,9I	I9,4
3,00	0,75	I6	0,78	I6,8	0,72	I5,4
3,25	—	—	0,73	I5,6	0,66	I4,2
3,50	0,46	IO	0,46	IO	0,49	IO,6
3,75	—	—	0,48	IO,4	0,40	8,6
4,00	0,29	6,2	0,29	6,2	0,28	6
4,25	—	—	0,27	5,8	0,28	6
4,50	0,3I	6,8	0,30	6,4	0,30	6,4
4,75	—	—	0,33	7	0,33	7
5,00	0,39	8,4	0,38	8,2	0,39	8,4
5,25	—	—	0,5I	II	0,55	II,8
5,50	0,50	IO,8	0,50	IO,8	0,54	II,6
5,75	—	—	I,00	2I,4	I,08	23,2
6,00	I,2I	25,8	I,23	26,4	I,23	26,4
6,25	—	—	I,33	28,5	I,37	29,2
6,50	I,27	27	I,38	29,4	I,37	29,2
6,75	—	—	—	—	—	—
7,00	I,32	28	I,33	28,5	I,33	28,5
7,25	—	—	—	—	—	—
7,50	I,IO	23,6	I,35	28,8	I,34	28,7
7,75	—	—	—	—	—	—
8,00	I,33	28,5	I,35	28,8	I,35	28,8
8,25	—	—	—	—	—	—
8,50	I,50	32	I,53	32,6	I,54	32,8
8,88	I,55	33	I,56	33,2	I,57	33,3

TUBAGE N°I - TAUX DE R ET H_V

Profondeur en mètre	R	H_V %	R	H_V %	R	H_V %	R	H_V %
	25 - 9 - 65		II - IO - 65		I9 - II - 65		II - I - 66	
0,30	0,64	I3,8	0,66	I4,2	0,69	I4,8	0,57	I2,2
0,50	0,49	IO,6	0,45	9,6	0,62	I3,2	0,49	IO,6
0,75	0,44	9,4	0,67	I4,4	0,7I	I5,2	0,73	I5,6
I,00	0,63	I3,4	0,65	I4	0,73	I5,6	0,64	I3,8
I,25	0,63	I3,4	0,75	I6	0,84	I8	0,74	I5,8
I,50	0,74	I5,8	0,33	7	0,46	IO	0,33	7
I,75	0,34	7,2	0,6I	I3,I	0,87	I8,5	0,6I	I3,I
2,00	0,63	I3,4	0,82	I7,4	I,02	2I,8	0,78	I6,8
2,25	0,73	I5,6	0,74	I5,8	0,87	I8,5	0,69	I4,8
2,50	0,6I	I3,I	0,98	2I	I,05	22,4	0,94	20
2,75	0,8I	I7,2	0,90	I9,2	0,84	I8	0,89	I9
3,00	0,83	I7,8	0,72	I5,4	0,73	I5,6	0,77	I6,6
3,25	0,69	I4,8	0,59	I2,6	0,56	I2	0,56	I2
3,50	0,47	IO,2	0,66	I4,2	0,68	I4,6	0,63	I3,4
3,75	0,50	IO,8	0,48	IO,2	0,49	IO,6	0,45	9,6
4,00	0,32	6,9	0,42	9	0,43	9,2	0,38	8,2
4,25	0,27	5,8	0,43	9,2	0,40	8,6	0,40	8,6
4,50	0,32	6,9	0,47	IO,2	0,37	8	0,42	9
4,75	0,33	7	0,48	IO,4	0,40	8,6	0,44	9,4
5,00	0,40	8,6	0,48	IO,4	0,45	9,6	0,50	IO,8
5,25	0,53	II,4	0,62	I3,2	0,59	I2,6	0,7I	I5,2
5,50	0,64	I3,8	0,53	II,4	0,65	I4	0,73	I5,6
5,75	I,I2	24,4	I,0I	2I,6	I,08	23,2	I,09	23,4
6,00	I,29	27,5	I,30	27,8	I,I8	25,2	I,23	26,4
6,25	I,39	29,6	I,4I	30,2	I,23	26,4	I,28	27,3
6,50	—	—	I,39	29,6	I,2I	25,8	I,28	27,3
6,75	I,40	30	I,43	30,6	I,4I	30,2	I,39	29,6
7,00	—	—	—	—	I,28	27,2	I,26	26,8
7,25	I,32	28	I,32	28	0,79	I7	I,06	23
7,50	—	—	—	—	0,75	I6	I,II	23,8
7,75	I,4I	32	I,34	28,7	I,08	23,2	I,26	26,8
8,00	—	—	—	—	I,I3	24,8	I,22	26
8,25	—	—	I,49	3I,8	I,29	27,5	I,34	28,7
8,50	I,52	32,4	—	—	I,39	29,6	I,44	30,8
8,88	I,55	33	I,57	33,3	I,50	32	I,53	32,6

TUBAGE N°I

évolution et mouvement de l'eau dans l'aquifère du 28-6-1965 au 2-I-1966

Profondeur en m.	Nature du terrain	Teneur en eau volumique : Hv %				
		maximum		minimum		moyenne
		R	Hv	R	Hv	Hv
0 - 0,5	Terre meuble	0,69	I4,8	0,22	4,8	9,3
0,5 - I,0	sable et graviers	0,73	I5,6	0,3I	6,8	II,2
I,0 - I,5	sable et graviers plus abondants	0,84	I8,0	0,33	7,0	I2,5
I,5 - 2,0	sable beige avec du gravier	I,02	2I,8	0,3I	6,8	I4,3
2,0 - 2,5	sable marron à grains arrondis	I,05	22,4	0,55	II,8	I7,I
2,5 - 3,0	sable avec des poussières argileuses	0,9I	I9,4	0,72	I5,4	I4,4
3,0 - 3,5	sable jaune avec des traces de magnétite	0,73	I5,6	0,46	I0,0	I2,8
3,5 - 4,0	" " " " "	0,50	I0,8	0,28	6,0	8,4
4,0 - 4,5	sable marron clair	0,47	I0,2	0,27	5,8	8,0
4,5 - 5,0	sable marron à grains arrondis	0,50	I0,8	0,33	7,0	8,9
5,0 - 5,5	sable beige bien classé	0,73	I5,6	0,50	I0,8	I3,2
5,5 - 6,0	sable marron clair	I,30	27,8	I,00	2I,4	24,6
6,0 - 6,5	sable jaune avec des poussières argileuses	I,4I	30,2	I,2I	25,8	28,0
6,5 - 7,0	silt et argile grise	I,43	30,6	I,26	26,8	28,7
7,0 - 7,5	sable jaune très fin	I,35	28,8	0,79	I7,0	22,9
7,5 - 8,0	sable beige clair fin	I,4I	30,2	I,08	23,2	26,7
8,0 - 8,5	sable beige	I,54	32,8	I,I3	24,8	28,6
8,5 - 8,90	sable beige avec des poussières argileuses	I,57	33,3	I,39	29,6	3I,4

- PROFILS HYDRIQUES DU TUBAGE N°2 - Pl.40 - 4I -

Coordonnées : X = 3G,26 Y = 49G,79

Nous retrouverons les 4 zones décrites pour le tubage n°I. La partie saturée et la frange capillaire ont des humidités voisines de celles mesurées pour le tubage n°I. La zone de rétention a une hauteur moindre, elle ne commence qu'à 2,50 mètres du sol. Les variations de l'humidité dans celle-ci sont assez voisines de celles observées pour le tubage n°I. La zone d'aération s'étend plus largement que dans le cas précédent, elle est toujours caractérisée par une variation importante de l'humidité qui, là encore, est plus faible dans la saison la plus sèche que la capacité de rétention spécifique.

Grâce à ces profils nous avons calculé le maximum et le minimum d'humidité du sol du 27-7-I965 au I5-I-I966 en portant les valeurs (R) sur la courbe d'étalonnage. Les résultats sont rapportés au tableau ci-dessous.

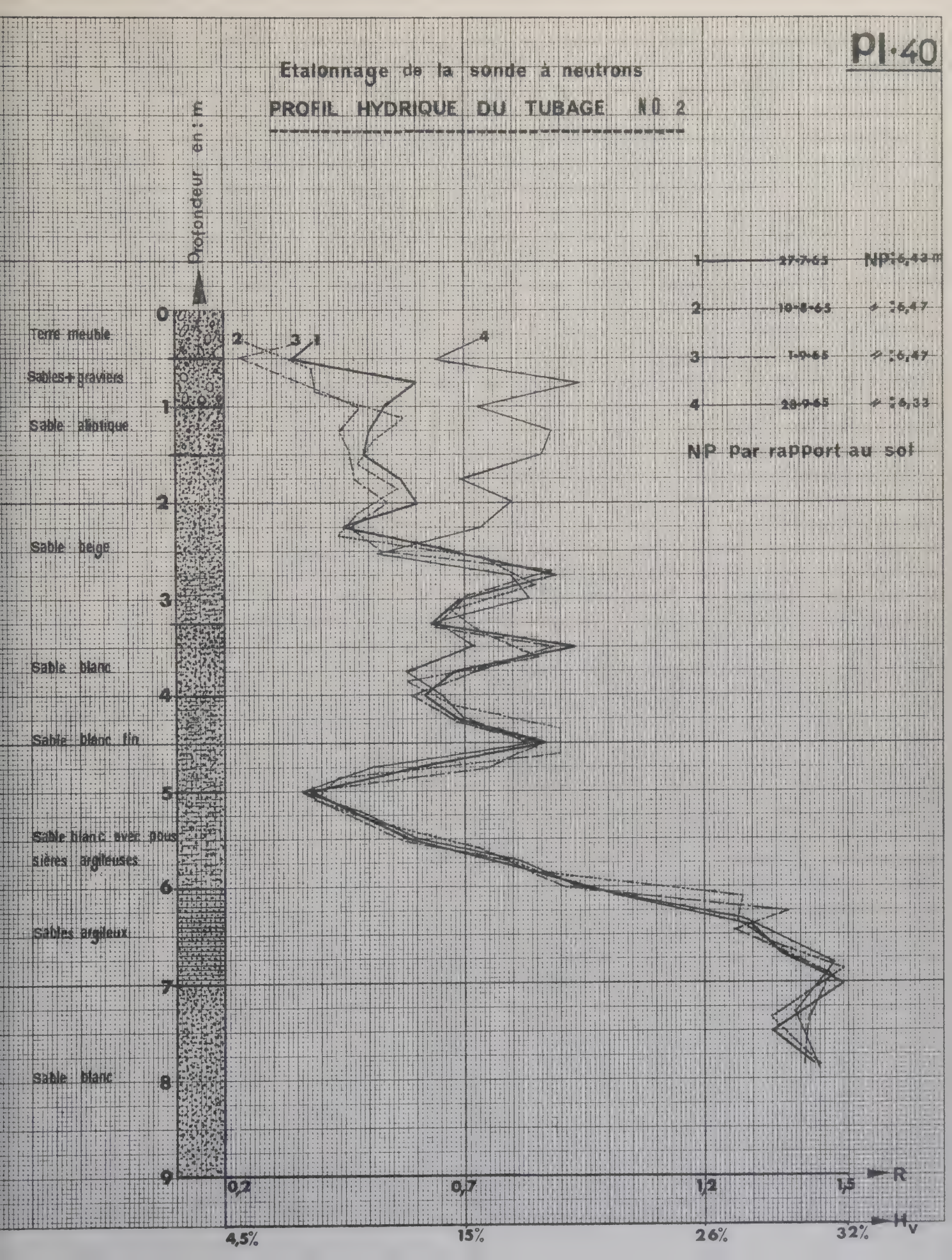
TUBAGE N°2

variation de la teneur en eau du sol du 27-7-I965 au I5-I-I966

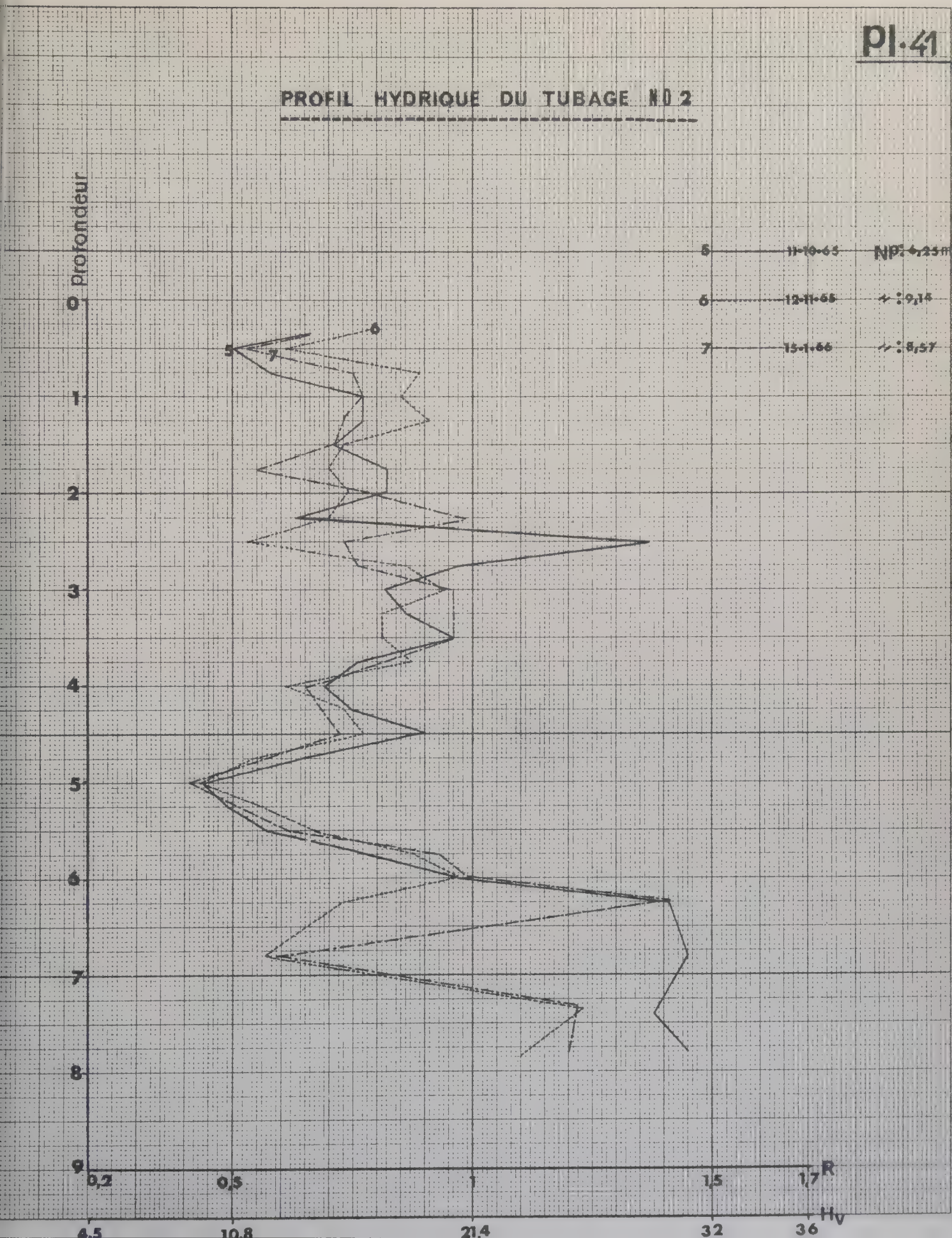
Profondeur en m	Nature du terrain	Teneur en eau volumique : H_V %				
		maximum		minimum		moyenne
		R	H_V	R	H_V	H_V
0 - I	sol (classé des sables et grav.	0,94	20	0,23	5	I2,5
I - 2	sable marron et sable beige	0,9I	I9,4	0,44	9,4	I4,4
2 - 3	sable beige, peu argileux	I,37	29,2	0,44	9,4	I9,3
3 - 4	sable blanc à caractère fluviatile	0,96	20,6	0,58	I2,4	I6,5
4 - 5	sable blanc fin, bien classé	0,90	I9,2	0,36	7,8	I3,5
5 - 6	sable blanc	0,99	2I,2	0,36	7,8	I4,5
6 - 7	sable gris argileux	I,49	3I,8	0,57	I2,2	22
7 - 7,84	sable blanc	I,45	3I	I,I0	23,6	27,3

Etalonnage de la sonde à neutrons

PROFIL HYDRIQUE DU TUBAGE N° 2



PROFIL HYDRIQUE DU TUBAGE N° 2



- PROFILS HYDRIQUES DES TUBAGES N° 3 et 4 : Pl.42 - 43

Des difficultés techniques nous ont empêché d'effectuer les mêmes mesures que sur les tubages n°I et 2. Les résultats du tubage n°3 correspondant à la période d'alimentation de la nappe par la pluie n'apportent que peu d'éléments. La planche 42 nous présente une variation d'humidité assez importante, en règle générale cette variation se rapproche du caractère moins régularisé que l'on trouve dans le tubage n°4.

Il n'en est pas de même pour ceux du tubage n°4. L'examen des profils hydriques montre nettement l'influence de l'évaporation sur l'humidité du sol. La différence entre la valeur maximum et la valeur minimum diminue très lentement avec la profondeur passant de I2% à 50cm, 7% à I,20m, 3,5% à I,80m, et I% à 3,30m de la surface du sol. Les variations d'humidité en fonction du temps par rapport à la profondeur pour ces deux tubages sont présentées aux tableaux suivants :

TUBAGE n°3

variation d'humidité du I4-9-I965 au I3-I-I966

Profondeur en m	Nature du terrain	Teneur en eau volumique : Hv %				
		maximum		minimum		moyenne
		R	Hv	R	Hv	Hv
0 - I	Terre meuble	0,85	I8,I	0,33	7	I2,6
I - 2	sable à caractère fluviatile	0,86	I8,3	0,6I	I3,I	I5,6
2 - 3	sable blanc fin et bien classé	I,04	22,2	0,70	I5	I8,6
3 - 3,53	sable blanc à grains arrondis	I,06	22,8	0,92	I9,6	2I,I

TUBAGE n°4

variation de l'humidité du sol du 26-6-I965 au I2-I0-I965

0 - I	sable et graviers abondants	0,82	I7,4	0,24	5,2	II,3
I - 2	sable beige en majorité fluviat.	0,77	I6,6	0,44	9,4	I2,9
2 - 3	sable blanc très fin	0,92	I9,6	0,58	I2,5	I6
3 - 3,40	sable beige bien classé	0,80	I7	0,50	I0,8	I3,8

Pl·42

PROFIL HYDRIQUE DU TUBAGE N° 3

1 ——— 14-9-65 NP: 6,40 m

2 ——— 18-10-65 // : 7,94

3 ——— 4-11-65 // : 8,63

4 ——— 13-1-66 // : 8,98

NP Par rapport au sol

Profondeur en : m

0

Terre meuble

1

Sable marron

Sable beige

2

Sable blanc fin

3

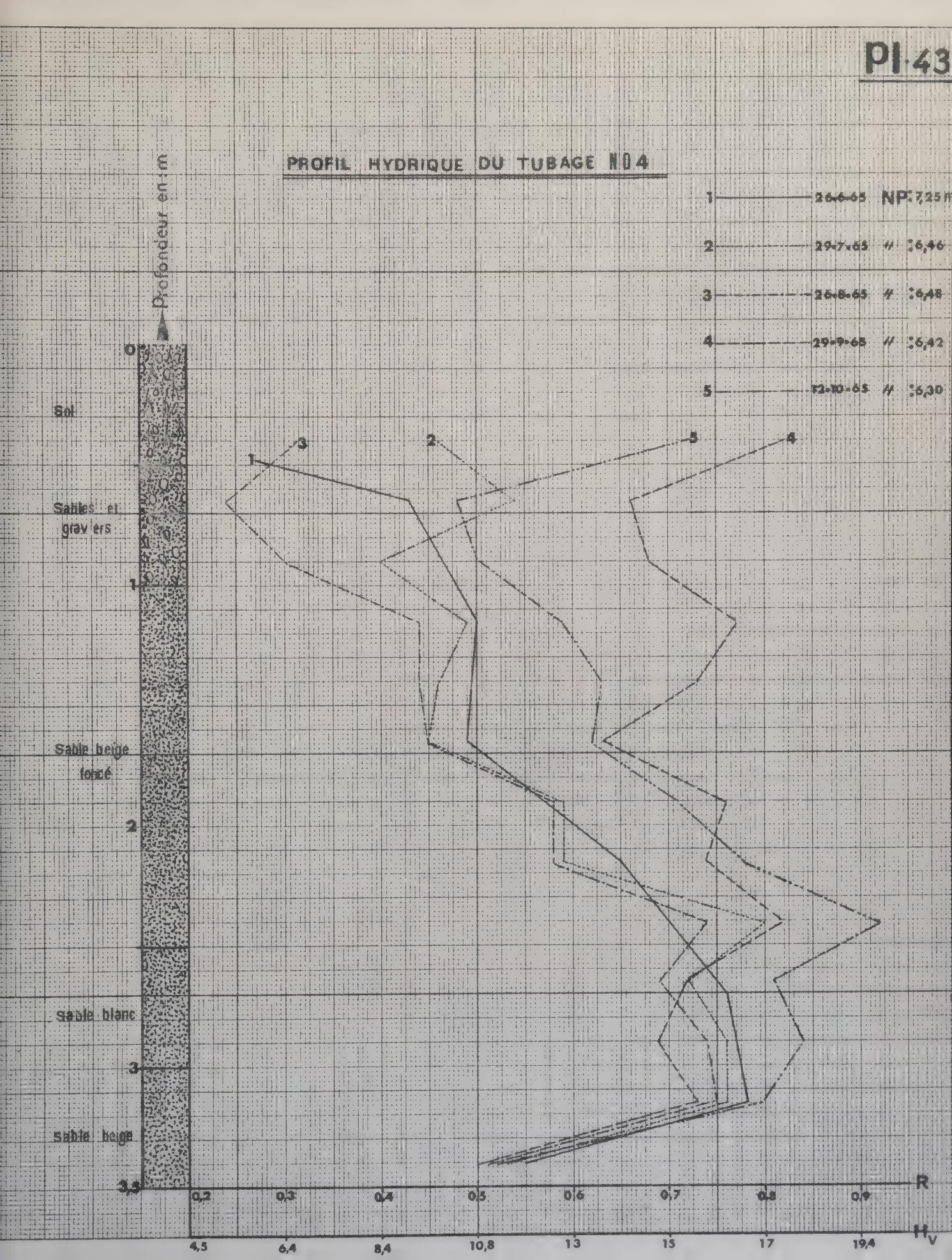
Sable blanc avec veine beige

3,8

0,3 0,4 0,5 0,6 0,7 0,8 0,9 1 — R

6,4% 8,4% 10,8% 13% 15% 17% 19,4% 21,4% H_v

PROFIL HYDRIQUE DU TUBAGE N 04



- PROFILS HYDRIQUES DU TUBAGE n°5 - Pl. 44 - 45 -

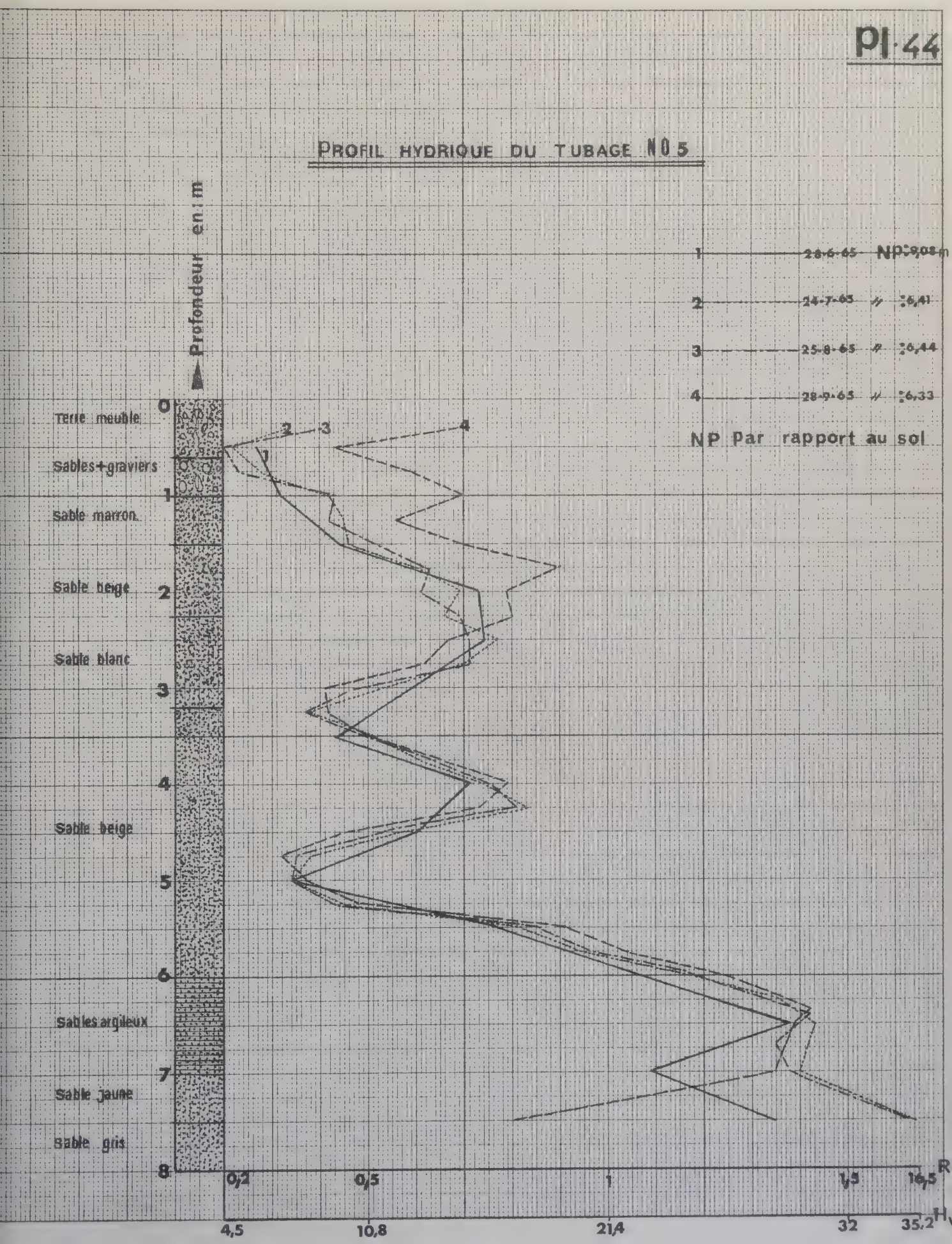
Il est situé à I,25 mètre du tubage n°I. On y trouve d'une manière générale des variations comparables à celui du tubage n°I, comprenant 4 zones décrites dans les pages précédentes. Pour ce qui est de l'étude de l'évolution d'humidité du sol dans l'aquifère faite par la méthode neutronique dans ce tubage nous avons dressé le tableau ci-dessous.

TUBAGE n°5

variation de la teneur en eau du sol du 28-6-I965 au I2-I-I966

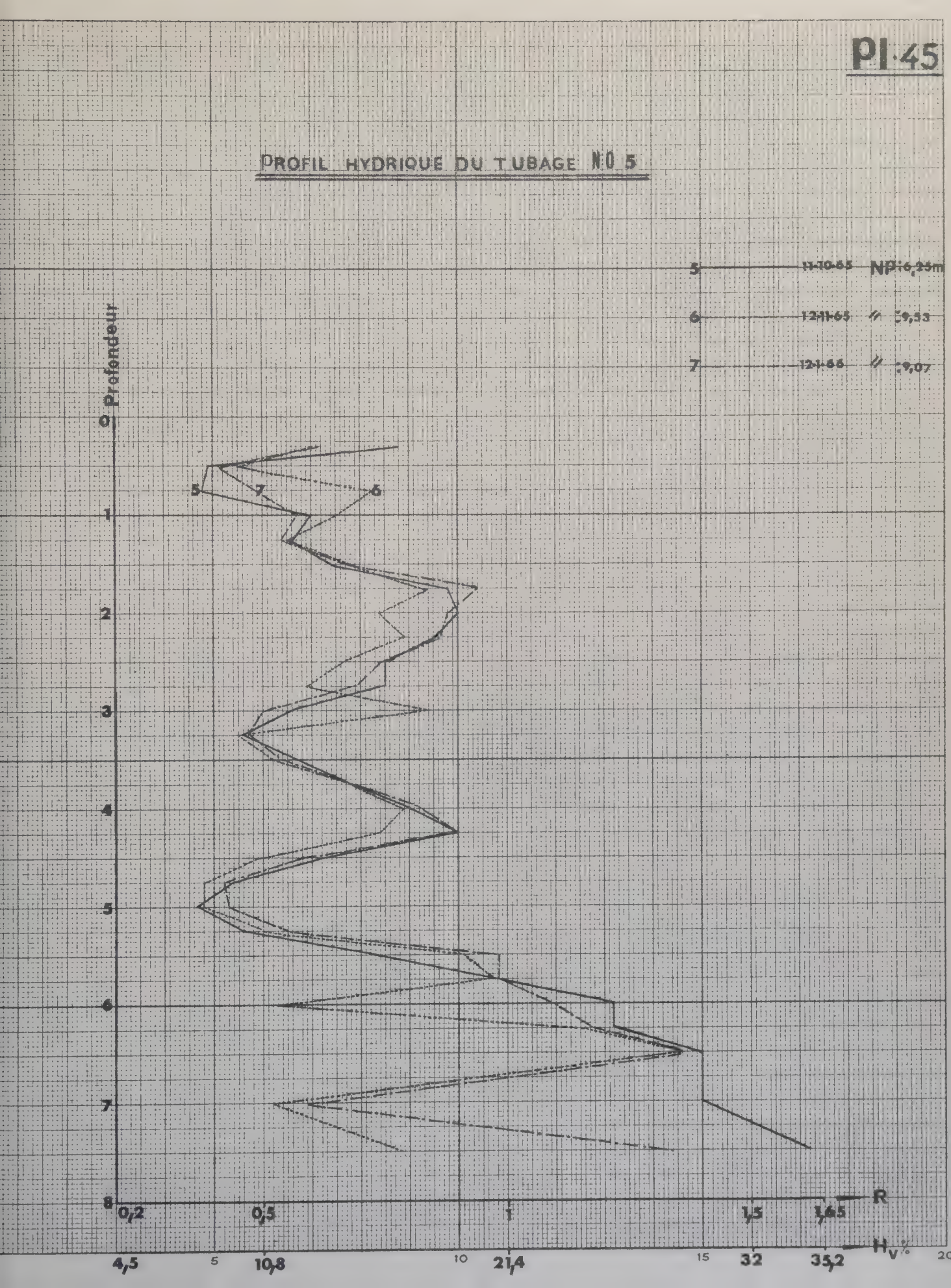
Profondeur en m	Nature du terrain	Teneur en eau volumique : Hv %				
		maximum		minimum		moyenne
		R	Hv	R	Hv	Hv
0 - I	sable et graviers	0,72	I5,4	0,I9	4,2	9,8
I - 2	sable marron et beige	0,94	20	0,42	9	I4,4
2 - 3	sable beige et blanc	0,86	I8,3	0,4I	8,8	I3,4
3 - 4	sable beige à grains arrondis	0,82	I7,4	0,37	8	I2,7
4 - 5	sable beige fin	0,90	I9,2	0,32	6,9	I3
5 - 6	sable beige	I,24	26,6	0,44	9,4	I7,8
6 - 7	sable gris argileux	I,42	30,4	0,52	II,5	20,8
7 - 7,5	sable gris et jaune	I,64	36	0,78	I6,8	26,2

PROFIL HYDRIQUE DU TUBAGE N° 5



Pl·45

PROFIL HYDRIQUE DU TUBAGE N° 5



LES PAPIERS CANSON France

- PROFILS HYDRIQUES DU TUBAGE n°6 - Pl. 46 - 47 -

Les alluvions étant hétérogènes, les échantillons recueillis à cet endroit sont différents de ceux recueillis près des tubages n°I et 5 à certaines mêmes profondeurs. Ce changement dans la nature des roches aménera quelques modifications des profils hydriques. Nous retrouvons bien quatre zones, mais les maxima et minima observés dans la zone de rétention spécifique ne sont pas situés à la même place que pour les tubages n°I et 5. Le minimum d'humidité pour les profils n°I, 2, 3, 4 correspondant à la zone d'aération, a une grande perte de la teneur en eau causé par la grossiéreté des grains (sable + gravier) et par l'influence de l'évaporation mais dans les profils n°5, 6, 7 grâce à la pluie d'automne l'humidité de cette zone tend vers une augmentation volumique. Les résultats obtenus sont rassemblés dans le tableau ci-dessous.

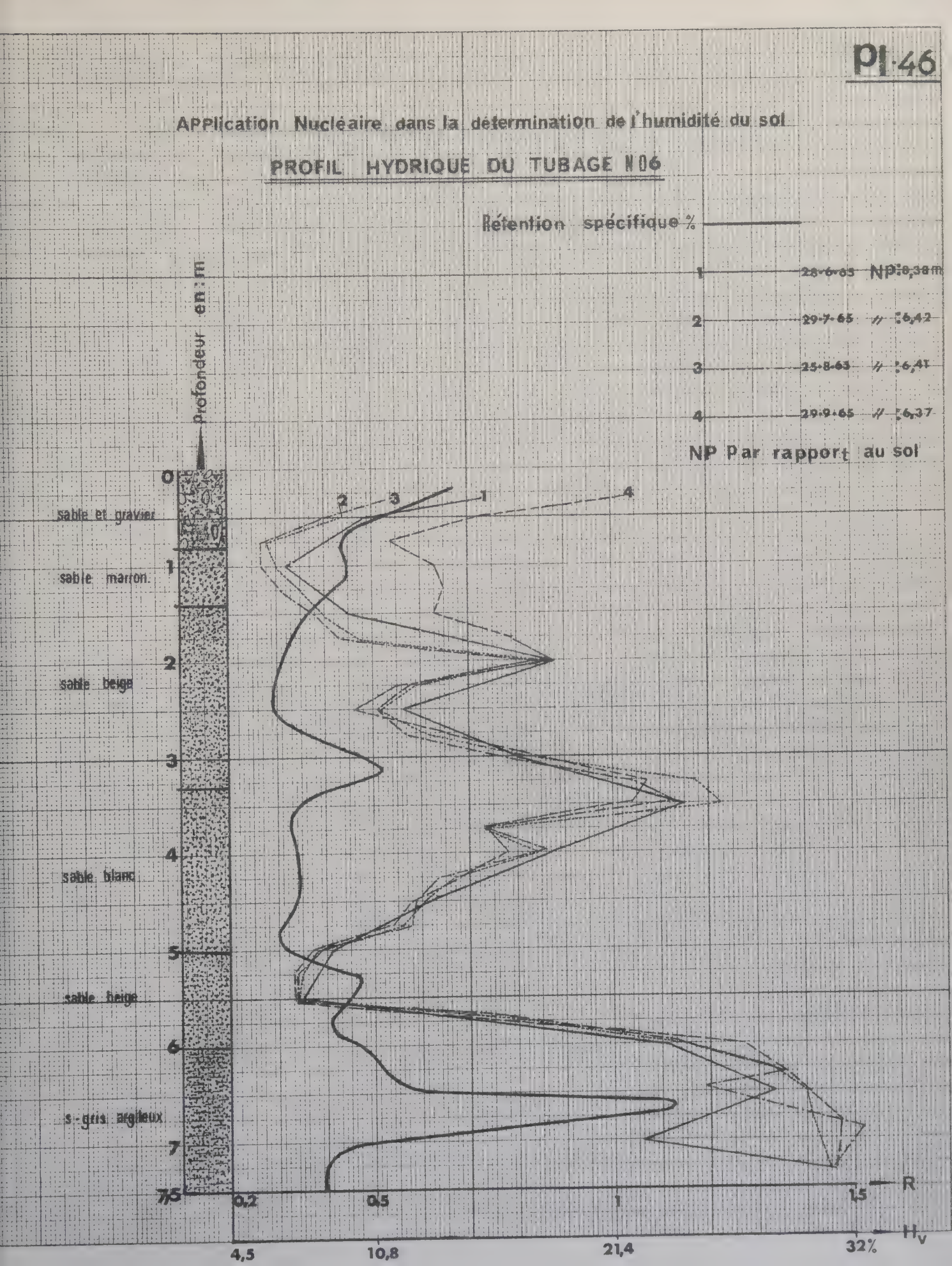
TUBAGE n°6

évolution de l'humidité du sol du 28-6-I965 au I2-I-I966

Profondeur en m	Nature du terrain	Teneur en eau volumique : H_V %				
		maximum		minimum		moyenne
		R	H_V	R	H_V	H_V
0 - I	sable grossier avec gravier	I,I0	23,6	0,24	5,2	I4,4
I - 2	sable marron et beige	0,92	I9,6	0,3I	6,8	I3,I
2 - 3	sable beige à grains arrondis	I,2I	25,8	0,46	I0	I7,7
3 - 4	sable blanc fin	I,I6	25	0,73	I5,6	I9,8
4 - 5	sable blanc	0,75	I6	0,37	8	I2
5 - 6	sable beige	I,32	28	0,33	7	I7,2
6 - 7	sable gris argileux	I,52	32,4	I,06	22,8	27,5
7 - 7,32	sable gris	I,5I	32,2	0,98	2I	26,5

APPlication Nucléaire dans la détermination de l'humidité du sol

PROFIL HYDRIQUE DU TUBAGE N 06

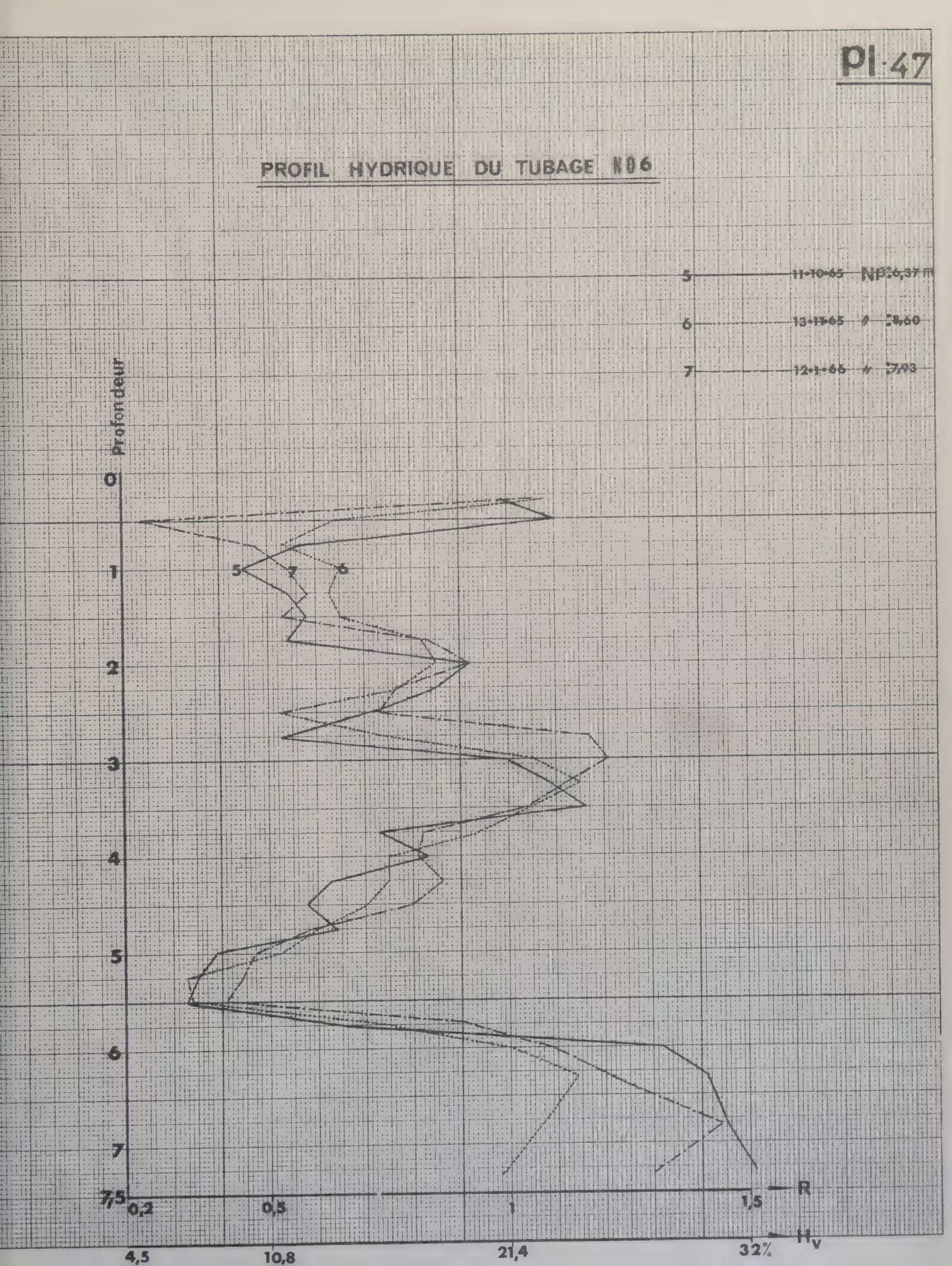


PROFIL HYDRIQUE DU TUBAGE N06

5 ——— 11-10-65 NP -6,37 m

6 ——— 13-11-65 // -8,60

7 ——— 12-1-66 // -7,93



- EVOLUTION DE L'HUMIDITE DU SOL DANS LE CONE DE DEPRESSION ET ESSAI DE BILAN PENDANT LA DUREE DU POMPAGE -

L'examen des courbes de rabattement en fonction du temps que nous avons obtenues lors des essais de débit, indique très nettement que très vite l'évolution du rabattement est ralentie par rapport à la variation théorique que l'on devrait observée si l'équation de THEIS était vérifiee.

Ce phénomène se manifeste très vite, presque I000 secondes après le début du pompage, il ne peut être dû à la présence de limite en raison de la faible vitesse de propagation du cône de dépression. Dans les divers essais effectués, les valeurs du coefficient d'emmagasinement (S) sont très variables ; et dans tous les cas celles-ci sont toujours d'autant plus faibles qu'elles se rapportent aux terrains des piézomètres situés à des distances plus éloignées du forage. Or la porosité effective est sensiblement plus élevée, de l'ordre de 20%. Dans une nappe libre le coefficient d'emmagasinement est égal à la porosité effective. Les valeurs données par (S) par la méthode du régime transitoire sont trop faibles. Grâce à la mesure de la variation de l'humidité dans le cône nous mettons en évidence l'existence d'un égouttement de longue durée. Dès le début de l'essai seule une petite quantité d'eau quitte le cône déterminant une valeur de S faible puisque la théorie prévoit que l'eau quitte instantanément le cône. L'eau d'égouttement va ensuite constituer un apport et jouera un rôle analogue à celui d'une limite alimentée dans l'évolution du rabattement.

I/ Evolution de la teneur en eau dans le cône de dépression :

Pour étudier la variation d'humidité de l'aquifère en des points fixes, en exploitant la nappe, nous avons procédé à un essai de pompage pendant 95 jours de la façon suivante :

Cet essai a commencé le mardi I9 octobre I965 à 9h30mn et a été arrêté le samedi I5 janvier I966 à I4h30mn. Au début du pompage la

mesure de l'humidité de l'aquifère par la sonde à neutrons était effectuée toutes les deux heures. Mais à mesure que la vitesse d'abaissement du niveau piézomètrique de la nappe diminuait, nous avons espacé l'intervalle entre les mesures. Celles-ci ont été effectuées sans interruption pendant toute la période de pompage (les jours où l'appareil était en panne, l'intervalle s'y rapportant est indiqué par des pointillés). Le but était d'examiner l'évolution de l'humidité afin de préciser le mouvement de l'eau pour plusieurs zones de l'aquifère. Les mesures dans le tubage n°I situé à 80cm du forage ont été faites de 6 mètres à 8,87 mètres de profondeur (car le niveau de la nappe au repos était à 6,25m du sol). Nous avons choisi I3 points de mesure situés à une distance de 25cm les uns des autres. On a construit I3 courbes correspondant à l'évolution de l'humidité pendant 95 jours d'essai de pompage pour ces profondeurs. La durée de la mesure était toujours de 4 minutes. Nous avons tracé les courbes expérimentales en portant les nombres d'impulsions par 4 minutes et par seconde. La moyenne trouvée par les données de référence étui durant tout le temps de mesure a été égale à m = 74,59 imps/sec.

Nous avons calculé le rapport (R), puis les taux d'humidité volumique (Hv) grâce à la courbe d'étalonnage. L'examen de ces courbes permet de constater que la désaturation de la nappe au début du pompage a été irrégulière.

Des variations de la teneur en eau très brusques mais peu importantes ont lieu pendant les premières heures de l'essai. Elles sont provoquées par la formation du cône de dépression. Elles ont pour conséquence les faibles valeurs du coefficient d'emmagasinement trouvées par l'application des méthodes du régime transitoire. S est trouvé de l'ordre de quelque % ou même inférieur. Dès que le cône va se creuser avec une vitesse plus faible, l'évolution de l'humidité de l'aquifère devient presque régulière, constituant un rapport d'eau non négligeable. Cependant plus le point de mesure de l'humidité est profond plus la variation de l'humidité se maintiendra pendant une longue période. Ceci paraît être dû à l'arrivée de l'eau

en provenance de la partie supérieure. Le débit de pompage diminue au fur et à mesure que le volume d'eau provenant de l'égouttement décroît. L'augmentation de la valeur de l'humidité en tous points à partir du I9 novembre se produit en même temps que la remontée du niveau piézomètrique de l'eau. Les valeurs de la pluviosité portées sur le même graphique ainsi que la mesure de l'eau infiltrée grâce aux lysimètres prouvent que l'apport de l'eau de pluie amène ces changements. Une augmentation du débit en résulte. Si cet apport d'eau par infiltration n'intervenait pas, l'égouttement continuerait pendant une très longue période. Après 39 jours de pompage, la valeur du rapport $\frac{\text{variation d'humidité } (H_V)}{\text{porosité effective } (m_e)}$ atteignait 67% dans la zone la plus favorable, tandis que le quotient le plus faible était inférieur à I0%.

Interprétation des courbes : Pl.48 - 49 - 50

Les courbes expérimentales nous font apercevoir que la teneur en eau de l'aquifère pendant 95 jours d'essai de pompage varie en fonction du temps et cette variation comprend deux périodes :

- la première période se poursuit pendant une durée de 39 jours, du I2 octobre au I9 novembre I965 et la variation d'humidité est différente dans chaque point de mesure et elle atteint toujours une valeur inférieure à la porosité effective. Comme nous le constaterons ultérieurement dans un essai de bilan de la nappe, cette variation ne produit qu'une quantité d'eau légèrement plus grande que le dixième du volume d'eau enlevé par le pompage.

- la deuxième période correspond à l'augmentation du débit et à l'alimentation de la nappe par la pluie. Mais la variation de l'humidité à chaque point de mesure est plus faible que dans le cas de la première période. En effet, nous calculerons les valeurs des variations de H_V pour chaque point et le quotient de cette variation par rapport à l'eau de gravité.

Nous allons examiner en détail pour chaque point de mesure l'évolution de l'humidité.

Ie point de mesure : profondeur 6 mètres

Le terrain comprend du sable beige à caractère

fluviatile. La variation d'humidité est égale à 3,40% et le rapport $\frac{\Delta H_V}{m_e}$ égal à I4,2%. Cette zone située au-dessus du niveau piézomètrique est constituée par la frange capillaire. Le changement d'humidité traduit la descente de celle-ci sous l'effet du pompage.

2e point de mesure : profondeur 6,25m

Le terrain est formé de sable jaune avec des traces de magnétite. L'extension est égale à 65m autour du forage représentant le rayon d'action (R_o = 65m), distance où le rabattement est nul. Sur une grande partie du cône cette zone renferme la frange capillaire. La variation d'humidité mesurée au centre du cône est du même ordre que celle obtenue précédemment ΔH_V = 3,30% et le rapport $\frac{\Delta H_V}{m_e}$ = I3,5%

3e point de mesure : profondeur 6,50m

Le terrain comprend du sable marron moyennement fin. Le rayon du cône est de 60m, la variation de H_V est égale à 4,6% et $\frac{\Delta H_V}{m_e}$ égale $2,I7.IO^{-I}$. Malgré la présence de la zone silto-argileuse sous-jacente empêchant une circulation facile de l'eau, nous retrouvons ici une variation d'humidité assez importante qui atteint le I/4 de l'eau de gravité.

4e point de mesure : profondeur 6,75m

La composition lithologique du terrain pour ce point montre la présence d'une lentille silto-argileuse grise. L'extension du cône est de 5Im, la variation maximum de l'humidité est de 2,85% et le rapport $\frac{\Delta H_V}{m_e} = 2,40.IO^{-I}$. L'examen des profils hydriques montre que l'humidité est élevée, plus de 30%, mais qu'elle ne varie que très peu dans le temps. La constitution de la formation indique qu'il s'agit d'une microporosité. Par conséquent la capacité de rétention est forte et le coefficient de perméabilité est très faible. C'est ce qui a été obtenu par nos mesures. Cette zone ne peut donc apporter qu'un très faible volume d'eau.

HUMIDITÉ

COURBE DU NIVEAU PIÉZOMÈTRIQUE

PLUVIOMÈTRIE

5e point de mesure : profondeur 7,00m

Le terrain est de nature silto-argileuse. Le rayon du cône est de 43m, la variation de H_V est égale à I,8% et le rapport $\frac{\Delta H_V}{m_e}$ égal à $9,86.10^{-2}$. Les phénomènes observés dans la zone précédente sont présents encore ici même à un degré supérieur.

6e point de mesure : profondeur 7,25m

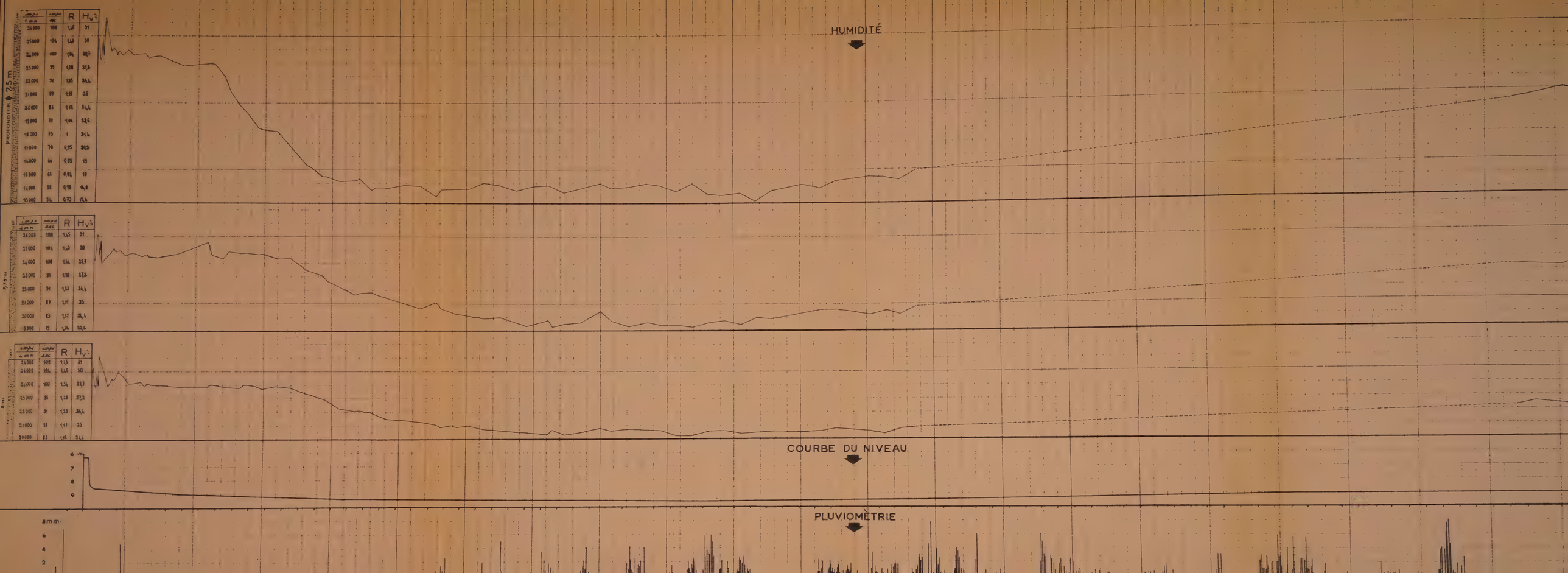
La formation est composée de sable jaune et de poussières argileuses. Cette partie se trouve immédiatement en dessous du passage silto-argileux. Le rayon du cône est de 34m, la variation de l'humidité est égale à II% et $\frac{\Delta H_V}{m_e} = 4,25.10^{-1}$. Cette grande variation de H_V dans cette zone est peut-être dûe au passage silto-argileux situé à une profondeur de 6,5 - 7,0m, ayant une capacité de rétention plus élevée et une perméabilité plus faible qui ralentissent la descente de l'eau provenant de la partie supérieure. Tout de même, cette partie de l'aquifère conserve une réserve d'eau de gravité plus grande que la partie située à 7,50m, en conséquence le volume d'eau retirée de cette profondeur est moins grand que pour la profondeur de 7,50m.

7e point de mesure : profondeur 7,50m

Le terrain renferme du sable jaune moyennement fin avec des poussières argileuses. L'étendue du cône est de 24,5m, la variation de H_V = I5,50% qui entraîne une certaine augmentation pour le rapport $\frac{\Delta H_V}{m_e} = 6,73.10^{-1}$. Correspondant aux 2/3 du volume d'eau de gravité qui est enlevé. Dans cette partie de l'aquifère les mêmes phénomènes se produisent que dans la zone précédente à 7,25m de profondeur.

8e point de mesure : profondeur 7,75m

Le terrain comprend ici du sable beige avec des traces de magnétite. L'extension du cône est I5m autour du forage, la variation maximum d'humidité est de 8% et $\frac{\Delta H_V}{m_e} = 3,62.10^{-1}$ qui représente I/3 de


HUMIDITÉ
COURBE DU NIVEAU
PLUVIOMÈTRIE
mm
6
4
2

l'eau de gravité enlevée par le pompage.

9e point de mesure : profondeur 8,00m

Cette zone formée de sable gris à grains arrondis, a un rayon du cône de 10m. La variation maximum d'humidité est égale à 6,6% et le rapport $\frac{\Delta H_V}{m_e} = 2,95.10^{-1}$.

10e point de mesure : profondeur 8,15m

Le terrain contient du sable beige fin d'origine fluviatile, mais remanié. Le rayon du cône est de 8,5m, la variation de H_V est égale à 6,63% et le rapport $\frac{\Delta H_V}{m_e} = 3,05.10^{-1}$, soit une variation du même ordre que pour la partie située au-dessus.

11e point de mesure : profondeur 8,37m

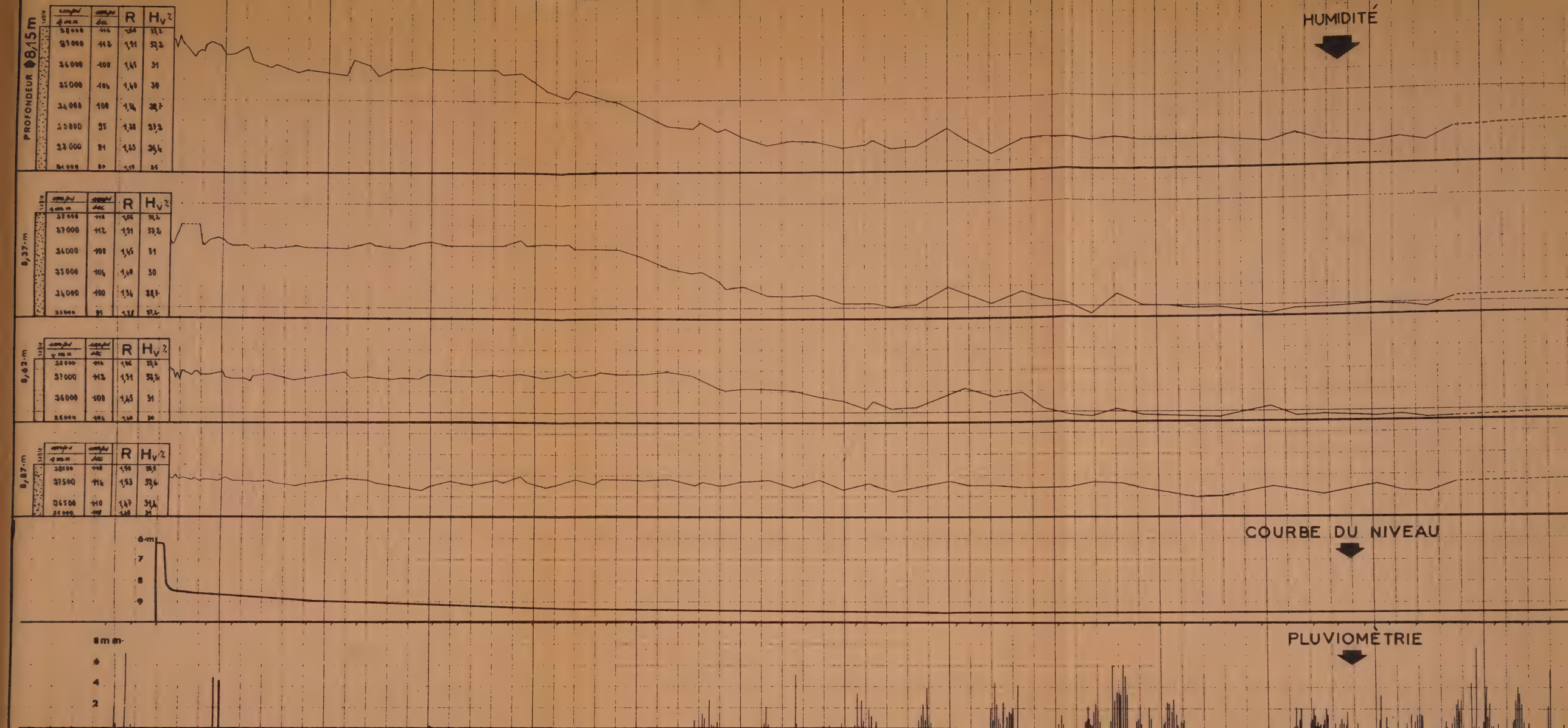
Le terrain comprend le même sable que la zone précédente. Le rayon du cône est de 7m, la variation de la teneur en eau 5,35% et le rapport $\frac{\Delta H_V}{m_e} = 2,46.10^{-1}$. Par conséquent cette zone produit moins d'eau de gravité que la précédente.

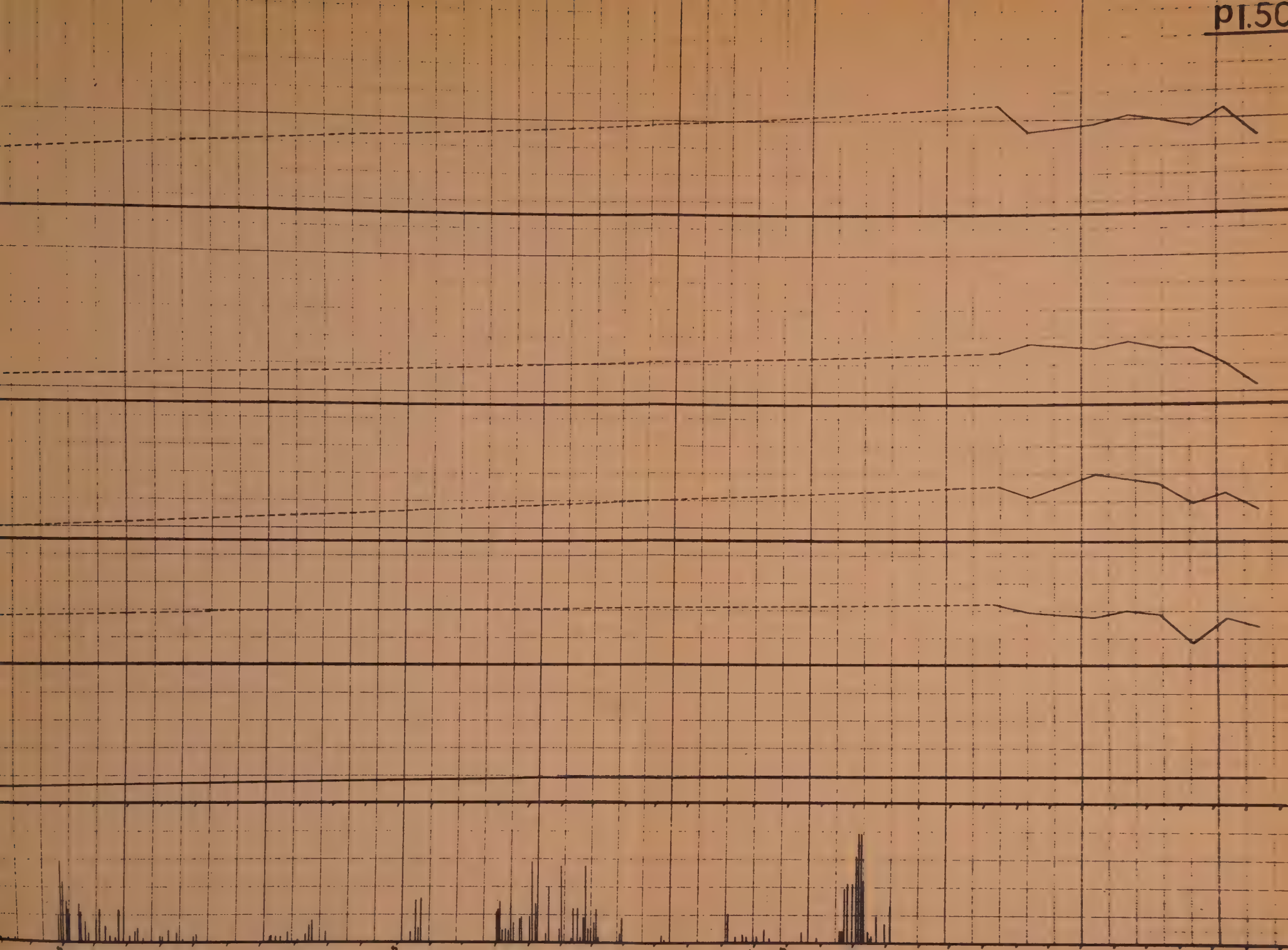
12e point de mesure : profondeur 8,62m

Les sédiments sont des sables très fins, à grains polychoromes. Le rayon de la zone est de 5,5m, la variation de $H_V = 2,65\%$ et le rapport $\frac{\Delta H_V}{m_e} = 1,22.10^{-1}$. Cette partie de l'aquifère a donc laissé échapper de l'eau de gravité sous l'action du pompage.

13e point de mesure : profondeur 8,87m

Le terrain est formé de sable beige fin avec quelques rares éléments de gravier et des traces de magnétite. L'humidité varie très faiblement au maximum de 0,80%. L'extension de cette zone est limitée, à cette profondeur, le rayon du cône est de 4m autour du forage. La très faible variation de l'humidité s'explique par la distance dans la frange capillaire Le rapport $\frac{\Delta H_V}{m_e} = 3,20.10^{-2}$, de ce fait, cette zone serait capable de


PROFONDEUR 8,15 m
R
Hv %
HUMIDITÉ
8,37 m
8,62 m
8,87 m
COURBE DU NIVEAU
6 m
7
8
9
PLUVIOMÈTRIE
8 mm
6
4
2


p1.50

produire un volume appréciable d'eau de gravité si le cône de dépression augmentait.

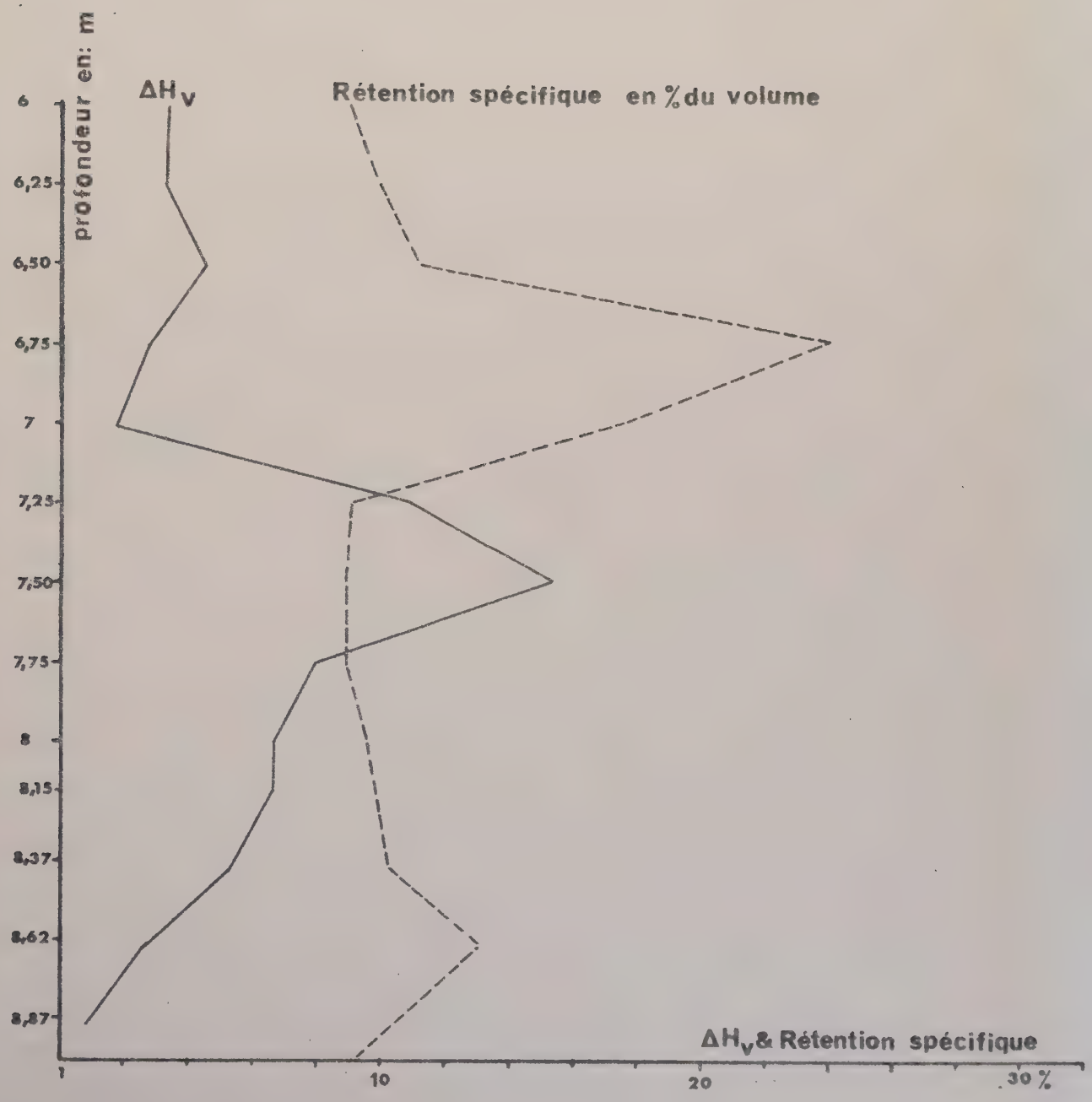
Au point de vue de comparaison des variations d'humidité, nous avons consigné dans le tableau ci-joint les valeurs maximum et minimum de R , de Hv, leur différence et enfin le moment de la mesure. Selon les données de ce tableau nous avons construit les courbes de (Pl.5I) qui présente la variation d'humidité pour chaque point de mesure pendant le temps de pompage et la microporosité du terrain. La variation minimum de l'humidité se situe aux profondeurs de 6,75 et 7,00 mètres, correspondant à la lentille silto-argileuse ayant à peu près l'humidité maximum et la capacité de rétention spécifique très élevée (confer tableau n°3).

La zone située immédiatement au-dessous du passage silto-argileux (profondeurs 7,25 - 7,50m) correspond à la variation maximum d'humidité, car cette partie, grâce à sa perméabilité et la petitesse de sa capacité de rétention spécifique égale à 8,96%, laisse écouler une quantité de son eau de gravité. A partir de 7,5 mètres vers la base, la variation de la teneur en eau devient d'autant plus faible que le point de mesure s'approche davantage de la nappe, c'est-à-dire de la zone de saturation de l'aquifère.

- CONCLUSION -

L'application de la méthode neutronique pour étudier l'évolution et le mouvement de la teneur en eau du sol nous a montré que l'évolution d'humidité dépend directement de la perméabilité du terrain et la capacité de rétention spécifique. Les formations perméables ne sont pas capables de garder une quantité d'eau appréciable dans leur milieu, donc l'humidité pour de telles formations varie selon les saisons et cette variation obéit à l'alimentation du terrain, tandis que réciproquement dans les éléments peu perméables la variation d'humidité en fonction du temps est très faible, voire nulle, puisque grâce à leur constitution moléculaire ces formations peuvent conserver un certain volume d'eau invariable dans le temps.

variation de la teneur en eau ΔH_v en fonction de la Profondeur en cours de Pompage et valeur de la capacité de Rétention



Variation d'Humidité dans le cône de dépression

Prof. en m.	Nature du terrain mesuré	Pourcentage d'humidité en volume : H_V %								Variation H_V
		MAXIMUM				MINIMUM				
		R	H_V	Date	Heure	R	H_V	Date	Heure	
6,00	Sable jaune	I,35	28,8	I2-I0-65	I0	I,I9	25,4	I6-II-65	I0	3,4
6,25	sable marron	I,40	30	"	I6	I,25	26,7	I9-II-65	I0	3,3
6,50	sable jaune	I,44	30,9	"	22	I,23	26,3	I9-II-65	I0	4,6
6,75	silt et argile	I,49	3I,9	"	I6	I,37	29,I	I2-I0-65	22	2,8
7,00	silt et argile	I,36	29,0	"	I4	I,28	27,2	25-II-65	I0	I,8
7,25	sable jaune	I,33	28,5	"	22	0,8I	I7,2	I9-II-65	I0	II
7,50	sable jaune	I,47	3I,3	"	22	0,74	I5,8	22-II-65	I0	I5,5
7,75	sable beige	I,46	3I,I	"	I4	I,07	23,I	9-II-65	I0	8
8,00	sable beige	I,46	3I,I	"	22	I,I3	24,5	I7-II-65	I0	6,6
8,I5	sable beige	I,54	32,8	"	I6	I,23	26,2	I4-II-65	I0	6,6
8,37	sable beige	I,54	32,8	I3-I0-65	I4	I,29	27,5	I8-II-65	I0	5,3
8,62	sable beige	I,54	32,8	I2-I0-65	I2	I,4I	30,2	I-I2-65	I0	2,6
8,87	sable beige	I,55	33,0	"	I6	I,5I	32,2	22-II-65	I0	0,8

Il faut cependant noter que même dans le cas le plus favorable et malgré une longue durée d'essai, le volume égoutté n'atteint que les 2/3 de la porosité effective. L'égouttement de l'eau du cône d'abord rapide, se ralentit ensuite, nous retrouvons les mêmes résultats que ceux obtenus expérimentalement par KING (I897 - I898).

2/ Détermination de la provenance du volume d'eau enlevé par pompage.

Il est intéressant de préciser la provenance de l'eau pompée dans le forage. Nous avons choisi de faire le bilan pendant une période de 39 jours entre le I2-I0-I965 et le I0-II-I965. Durant tout ce temps le niveau de l'eau de la nappe a baissé continuellement et commençait à remonter le I0-II-I965.

Nous avons déterminé l'apport de la pluie à l'aide d'une case lysimétrique de I m^2 de surface et dont le fond est situé à 3 mètres de profondeur. L'humidité n'a pratiquement pas varié durant cette période entre ce point et le niveau de la nappe au repos comme le montre le profil hydrique du tubage n°I. On peut en conclure que l'eau infiltrée a gagné la nappe.

Mais en tenant compte de la vitesse de percolation, seuls les volumes suivant sont à retenir :

I4.I0. I965 : 20 litres

I2.II. I965 : I5 litres

soit 35 litres pour une surface de I m^2. L'eau recueillie les I5-II-I965 et I8-II-I965 soit 33,5 litres, expliquent la remontée du niveau de l'eau de la nappe. La surface du cône était de I3.266 m^2, l'apport par la pluie est donc de : $I3.266 \times 35.I0^{-3} = 464,3I\ m^3$.

Volume d'eau provenant de la variation d'humidité du cône de dépression :

Nous avons construit la courbe de la forme du cône

et nous l'avons découpée en petits éléments assimilables à des troncs de cône de façon que les points de mesure à la sonde à neutrons soient situés au milieu de ces troncs, et nous avons calculé les volumes de ces troncs de cône suivant la formule du tronc de cône à bases parallèles :

$$V = I/3\ h\ (B + b + \sqrt{B.b})$$

dans laquelle :

B et b : surface des bases

h : distance des plans des bases.

Nous avons trouvé les volumes d'eau provenant des troncs de cône en déterminant sur les Pl.48 - 49 - 50, la variation d'humidité entre le début du pompage et le I9 novembre. Cet apport est de 442 m^2. Les résultats obtenus sont indiqués au tableau ci-dessous :

Profondeur en m.	volume du cône en m^3	variation Hv en %	volume écoulé en m^3
6,250 - 6,375 6,25	3 I4I,23	3,30	I02,I0
6,375 - 6,625 6,50	2 555,75	4,60	I20
6,625 - 6,875 6,75	I 776,93	2,80	50
6,875 - 7,I25 7,00	I I82,40	I,80	2I,28
7,I25 - 7,375 7,25	547,35	II,00	60,20
7,375 - 7,625 7,50	355,32	I5,50	55,70
7,625 - 7,875 7,75	I72,45	8,00	I3,80
7,875 - 8,04 8	63,83	6,60	4,2I
8,04 - 8,25 8,I5	43,53	6,63	2,93
8,25 - 8,50 8,37	29,85	5,35	I,60
8,50 - 8,75 8,62	I8,00	2,65	0,477
8,75 - 9,00 8,87	I0,33	0,80	0,775

Volume amené par l'écoulement de la nappe :

La carte des hydro-isohypses établie par E.SAMILGIL, montre que dans la partie étudiée, la nappe est drainée par 2 ruisseaux, le ruisseau d'Ars et l'autre qui coule au sud de l'Ars, la distance entre ces 2 cours d'eau est de l'ordre de 410 mètres.

L'étude de la répartition des rabattements en fonction de la distance $\log\Delta = f(\log r)$ indique que le rayon du cône R_o est de 65m. environ. (Pl.52).

le front d'emprunt est : $F = 2\pi R_o$ soit : $F = 2 \times 3,14 \times 65$

donc $F = 408$m.

Cette valeur indique que les filets liquides vont être déviés et circuleront en direction du forage au lieu d'aller vers les deux ruisseaux décrits.

Il y a donc alimentation par réduction du débit aux émergences. La transmissivité moyenne de la nappe est de $2,7.10^{-4}$ $m^3/sec/m$. La pente moyenne de la surface piézométrique (i) est de l'ordre de $6,3.10^{-3}$ mètre (Pl.53). Le débit de la nappe sur un front de 408 m est de :

$$Q = T\ F\ i \quad \text{soit } Q = 2,7.10^{-4} \times 408 \times 6,3.10^{-3}$$

on obtient :

$$Q = 6,94.10^{-4}\ m^3/sec.$$

Pour la période étudiée le volume d'eau apporté par la nappe est de :

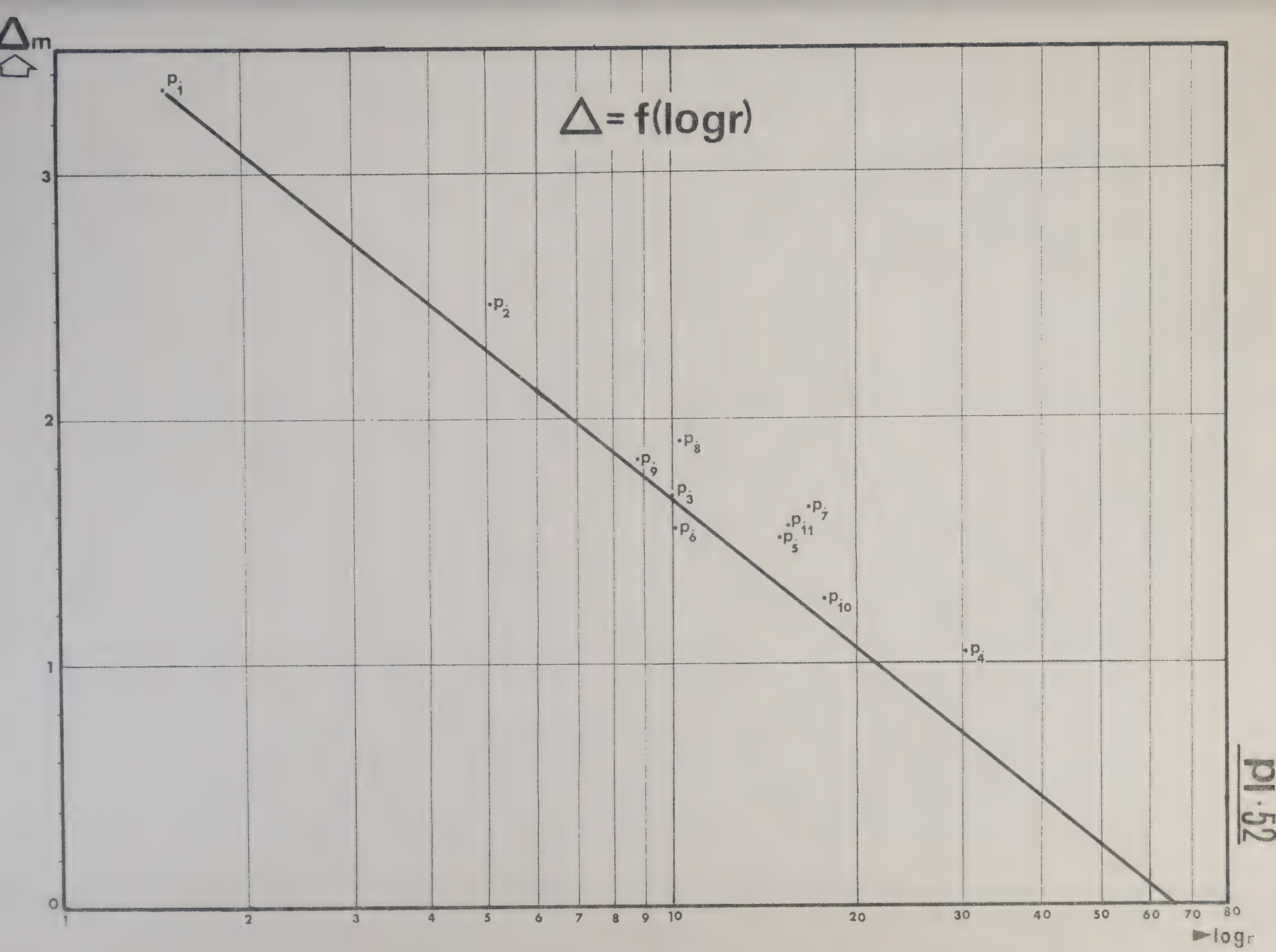
$$6,94.10^{-4} \times 3600 \times 24 \times 39 = 2\ 339\ m^3$$

Volume d'eau écoulé :

Le débit n'ayant pas été constant, celui-ci a été calculé par planimètre, en 39 jours il a été pompé 3 670 m^3.

Lorsque l'on fait la somme des volumes d'eau apportés on trouve :

par l'écoulement de la nappe	:	2 339 m^3	72 %
la pluie	:	464	14,5%
la variation d'humidité du cône	:	442	13,5%
		3 245 m^3	100 %


Δm
Δ = f(logr)
p1
p2
p8
p9
p3
p7
p11
p6
p5
p10
p4
3
2
1
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
20
30
40
50
60
70
80
►logr

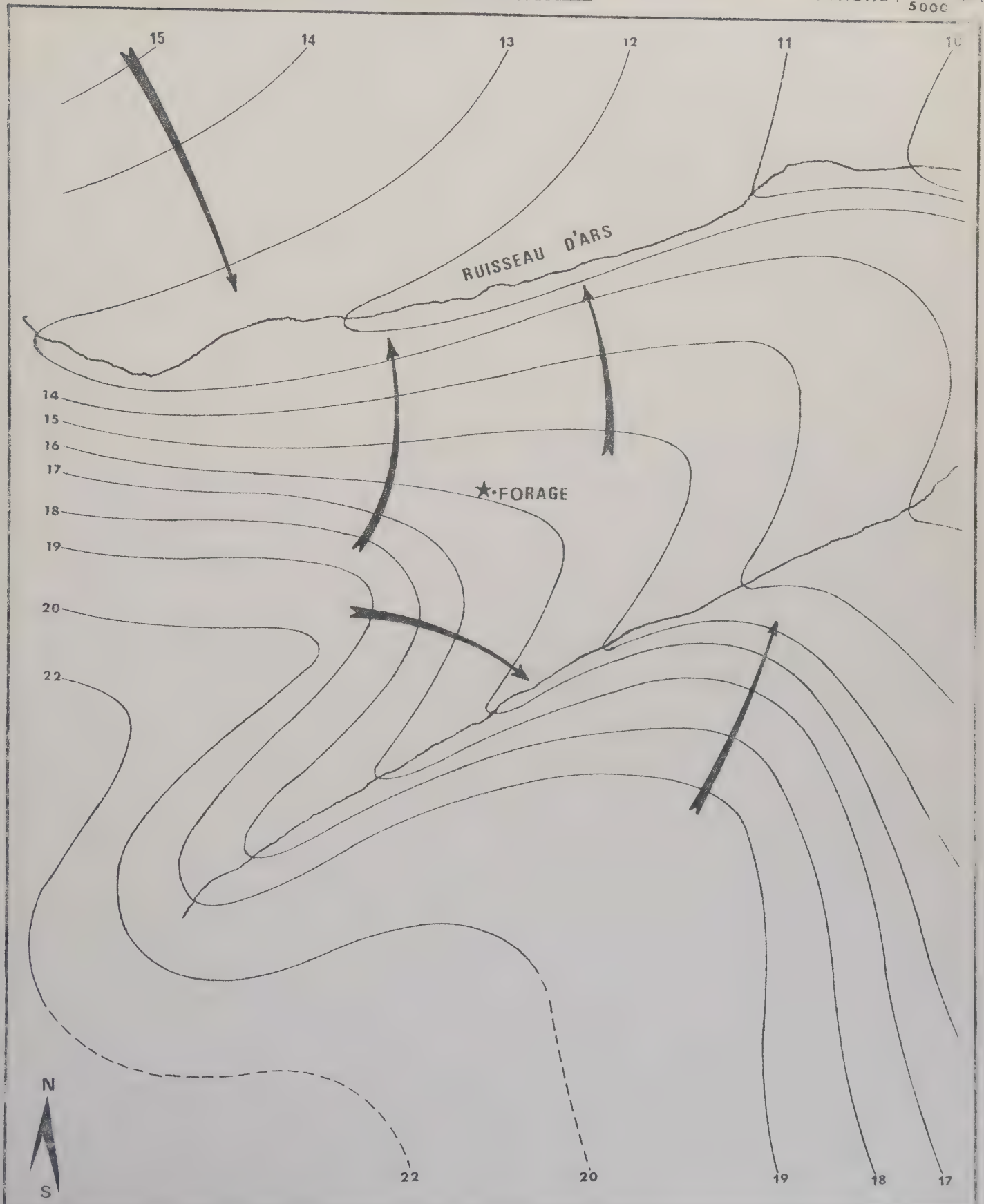
pl. 52

HYDRO – ISOHYPSES

PI .53

DE LA NAPPE PHREATIQUE

échelle : $\frac{1}{5000}$



Cette valeur est légèrement plus faible. Cependant il faut noter les incertitudes sur le rayon du cône (R_o), sur la transmissivité (T) et surtout sur le gradient hydraulique (i) ; ainsi d'ailleurs que sur les variations d'humidité dûes à l'hétérogénéité de l'aquifère car nous avons étendu à l'ensemble du cône les observations faites pour sa partie centrale.

Ceci nous permet de dégager un fait important. La plus grande partie de l'eau provient de l'écoulement de la nappe, tandis que le volume d'eau provenant de la variation de l'humidité du cône ne représente qu'une valeur légérement plus grande que le dixième du rapport total.

- CONCLUSION -

La mesure de l'humidité dans le cône de dépression durant l'essai, met en évidence l'importance de l'égouttement qui se manifeste pendant une très longue période. Celui-ci est responsable des résultats défavorables donnés par les méthodes du régime transitoire (Theis et Jacob) pour le volume de coefficient d'emmagasinement dans le cas de nappes libres [valeur de $\geq$ IO fois plus faible]. Les passages d'élements fin à forte capacité de rétention et à faible perméabilité, joueront un très grand rôle dans les résultats des essais de pompage effectués dans les nappes libres et en particulier dans le cas des nappes alluvionnaires où ils sont très fréquents.

-=-=-=-=-

QUATRIEME PARTIE

GEOCHIMIE DE LA NAPPE PLIO-QUATERNAIRE

Il est important de connaître la géochimie de l'eau de la nappe, car elle dépend des données hydrogéologiques. C'est la raison pour laquelle nous nous sommes attachés à recueillir et à effectuer un nombre important d'analyses chimiques complètes des eaux de la nappe, prises à divers piézomètres, à différentes époques. L'étude géochimique comprend deux chapitres :

- dans le premier chapitre nous traiterons des analyses complètes concernant la crue et l'étiage 1965, ainsi que les variations des éléments chimiques de l'eau de la nappe avant et après un pompage d'une durée de 12 jours.

- le deuxième chapitre comprend les analyses partielles réalisées par les mesures mensuelles pendant une année entière.

Le tableau des résultats de ces expériences se trouve à l'annexe C.

C H A P I T R E - I

LES ANALYSES COMPLETES

Pour interpréter plus facilement les analyses chimiques, nous avons construit les diagrammes semi-logarithmiques SCHOELLER. Sur ceux-ci, les concentrations des éléments chimiques sont exprimées en milliéquivalents. C'est ainsi que nous avons pu suivre l'évolution de la composition chimique de l'eau de la nappe dans chaque piézomètre , représenté sur les diagrammes par la lettre P. Ainsi, les eaux ont pu être classées selon les diverses propriétés. Les facteurs que nous avons étudiés alors sont les rapports : $\frac{rMg}{rCa}$ $\frac{r\,(Ca + Mg)}{r\,(Na + K)}$ $\frac{rSO_4}{rCl}$ $\frac{rHCO_3}{rCa}$ $\frac{rNa}{rCa}$ et $\frac{rNa}{rMg}$.

Le pH d'équilibre en fonction de la température "°C" et la force ionique "μ ", ainsi que le Kr

$$K_r = \sqrt[3]{(rHCO_3)^2 (rCa)}$$

et le produit de solubilité "S" du SO_4 Ca :

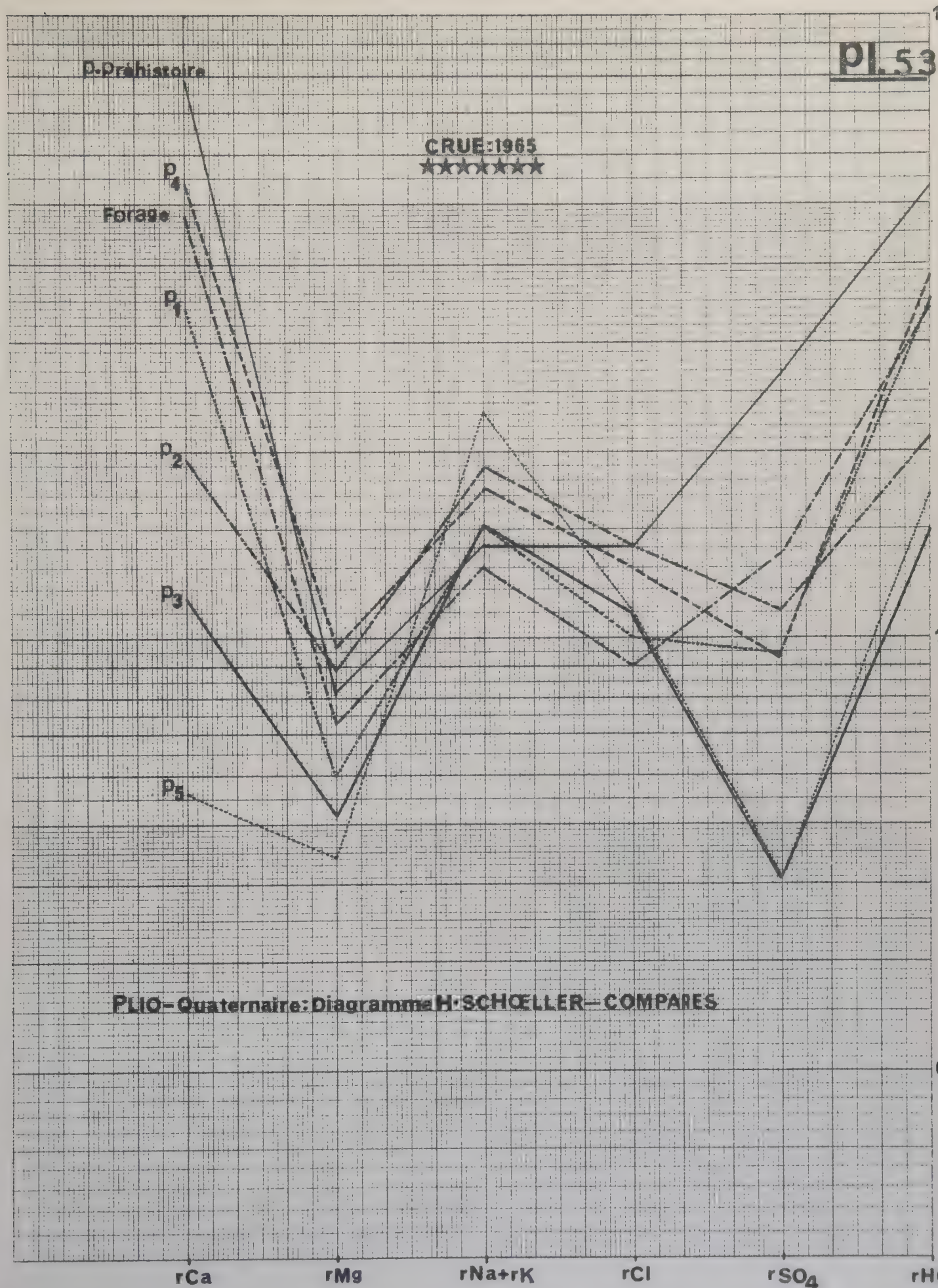
$$S = \sqrt{(rSO_4^{--})\ (rCa^{++})}$$

enfin les indices d'échange de bases :

$$i.e.b = \frac{rCl - r(Na + K)}{r\,Cl} \text{ lorsque } rCl > rNa \ (+)$$

H.SCHOELLER I934

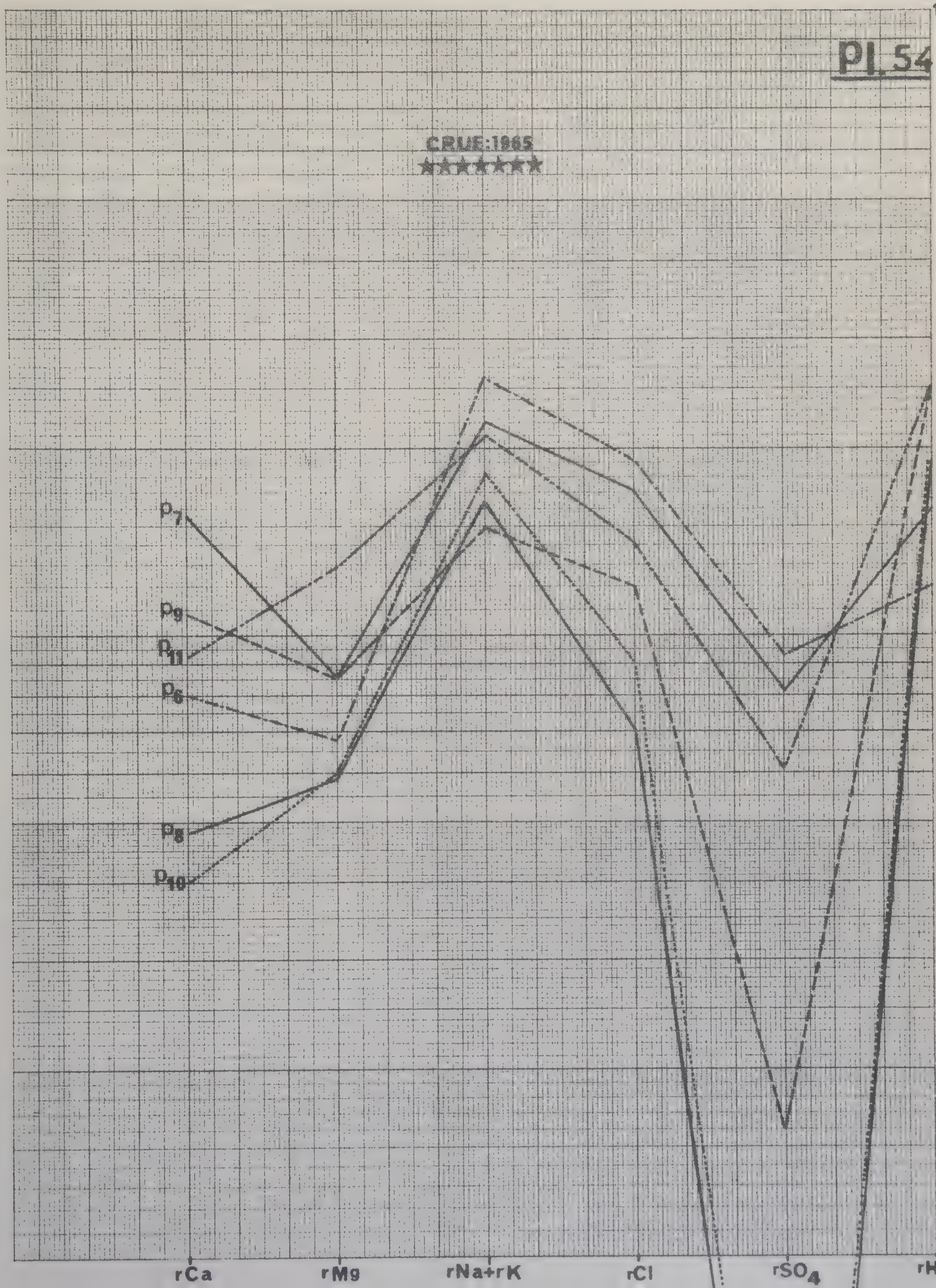
$$i.e.b = \frac{rCl - r\,(Na + K)}{rHCO_3 + rSO_4 + rNO_3} \text{ lorsque } rCl < rNa \ (-)$$

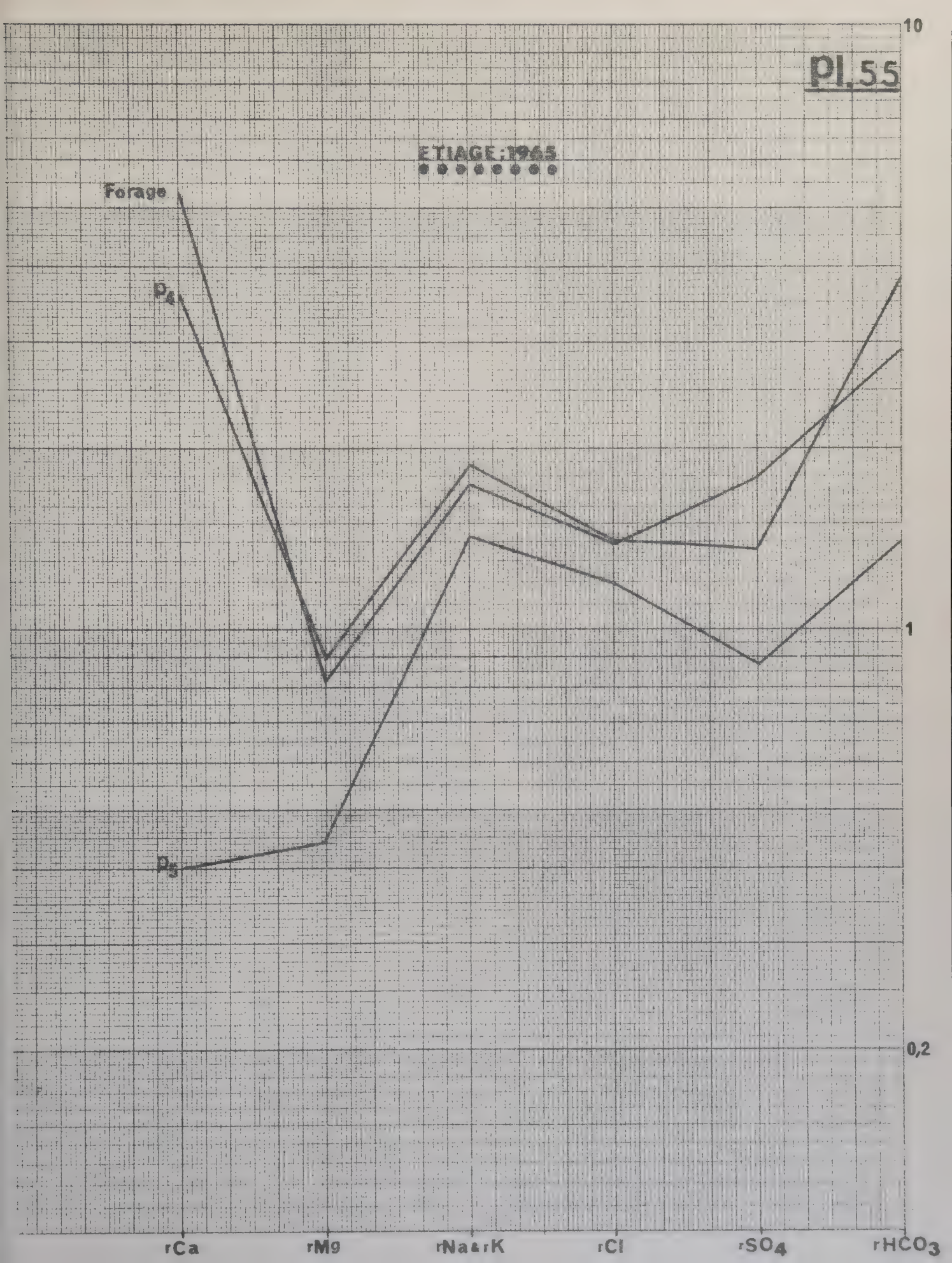


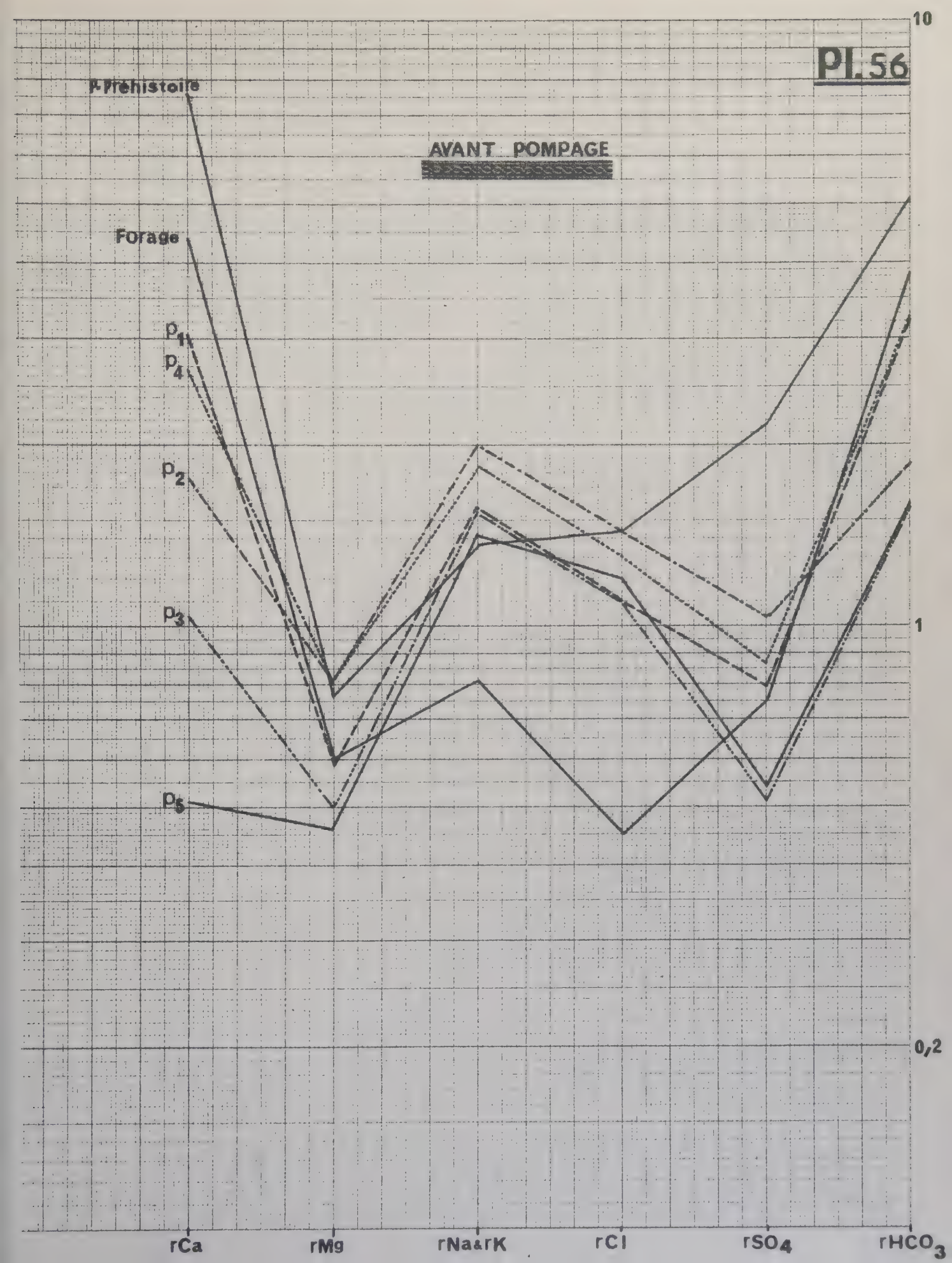
PLIO-Quaternaire: Diagramme H.SCHŒLLER—COMPARES

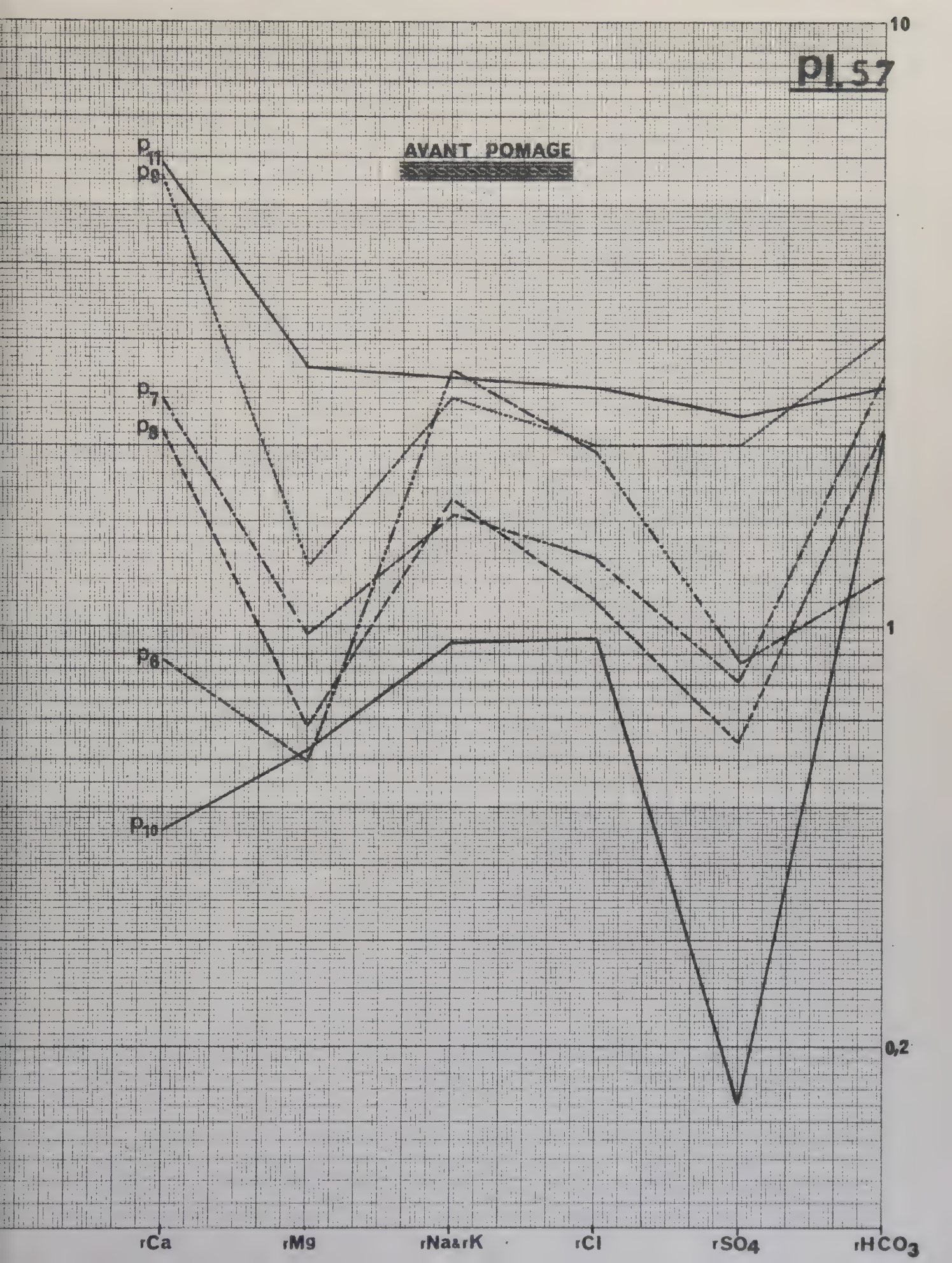
PI.54

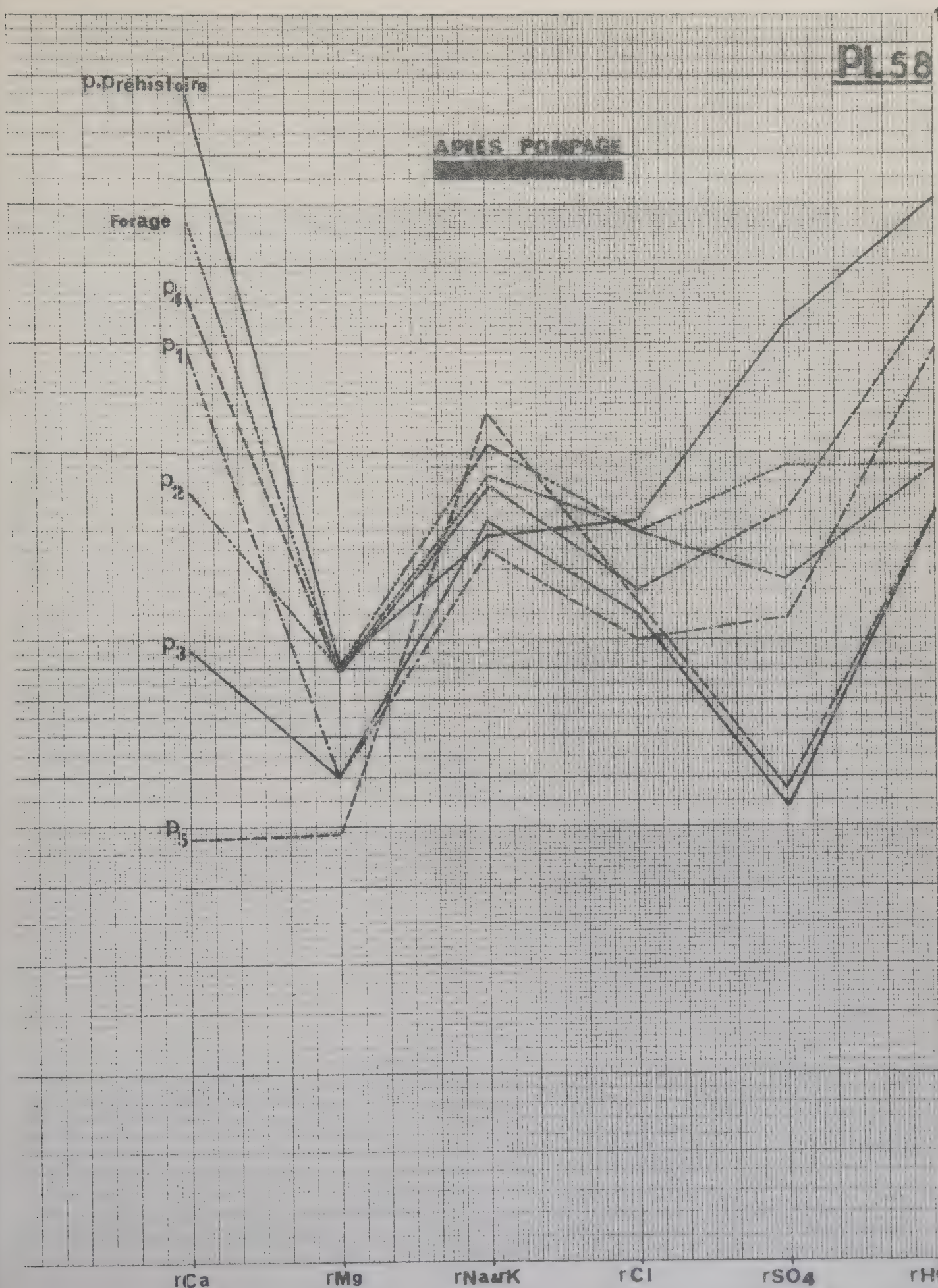
CRUE:1965

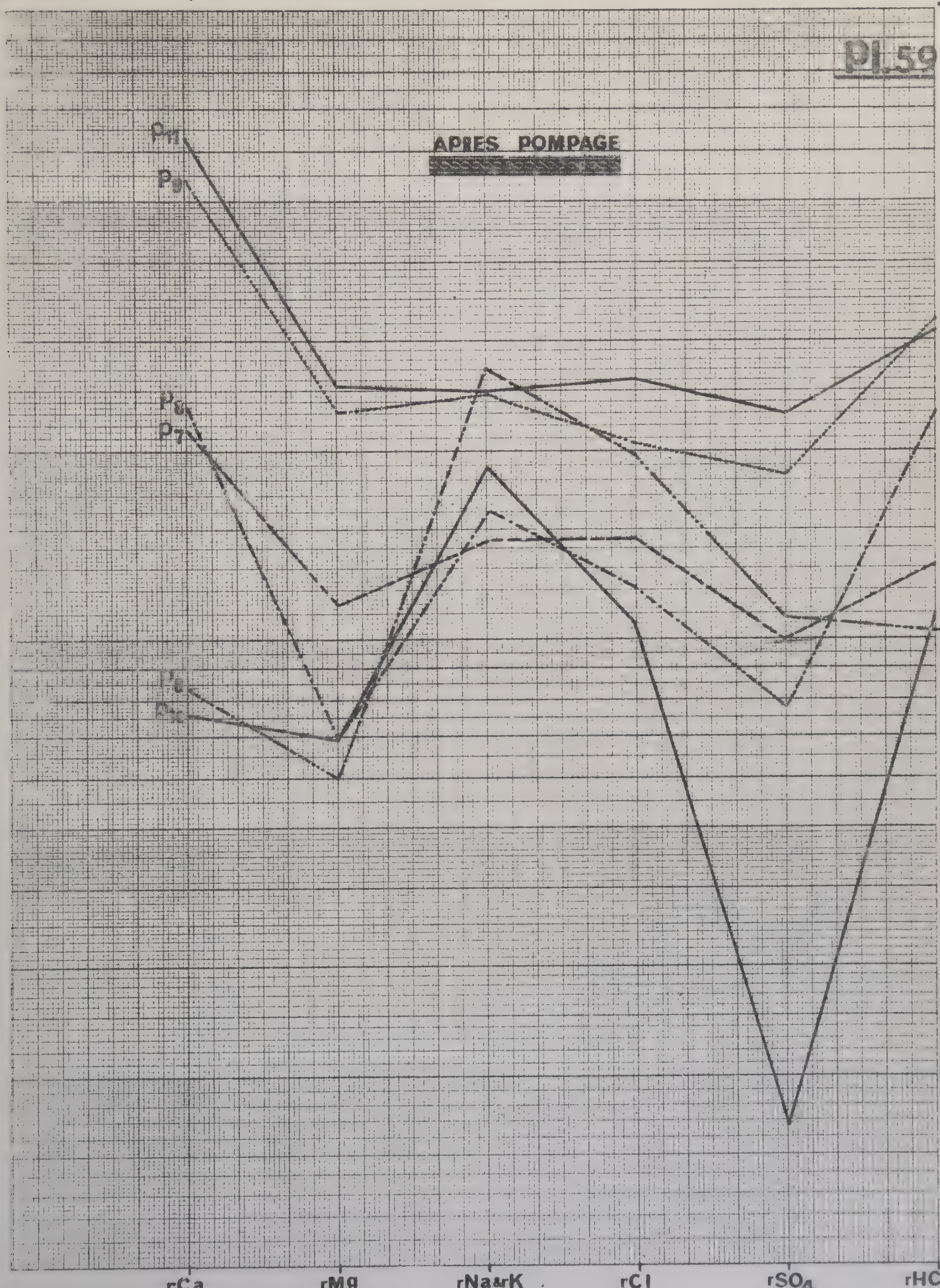



Pl.55
ETIAGE:1965
Forage
P4
P3
10
1
0,2
rCa
rMg
rNa+rK
rCl
rSO4
rHCO3


PI.56
AVANT POMPAGE
Préhistoire
Forage
p11
p4
p2
p3
p5
10
1
0,2
rCa
rMg
rNa&rK
rCl
rSO4
rHCO3


pl.57
AVANT POMAGE
p11
p9
p7
p8
p6
p10
10
1
0,2
rCa
rMg
rNa&rK
rCl
rSO4
rHCO3


Pl.58
p.Préhistoire
APRES POMPAGE
Forage
P4
P1
P12
P3
P15
10
1
0,2
rCa
rMg
rNa+rK
rCl
rSO4
rHCO3


APRES POMPAGE
P11
P9
P6
P7
P5
P3
10
1
0,2
rCa
rMg
rNa&rK
rCl
rSO4
rHCO3

- La force ionique -

Elle est donnée par la formule :

$$\mu = I.IO^{-3}\left(\frac{rCl}{2} + \frac{rNa}{2} + \frac{rHCO3}{2} + rSO4 + rCa + rMg\right)$$

Les valeurs de la force ionique sont très faibles et comme on le voit au tableau ci-joint, il se manifeste une grande similitude concernant la petitesse de ces valeurs pour les périodes d'analyse. Pourtant elle augmente dans le cas du puits préhistoire (P.P.)

- pH d'équilibre -

Il nous permet de déterminer l'agressivité de l'eau vis-à-vis du calcaire. En effet, si le pH d'équilibre est supérieur au pH mesuré de l'eau, celle-ci peut encore dissoudre du carbonate de chaux. Le pH d'équilibre est fonction de la force ionique et de la température. Le point S représentant le pH d'équilibre trouvé, a pour équation (H.SCHOELLER 1956).

$$\log_S = I,2 \log\left[(rCa)\ (rHCO_3)\right]$$

ce point S est l'intersection de la verticale située à mi-chemin de rCa et $rHCO_3$, avec la droite joignant ces deux éléments. Nous avons ajouté aux pH d'équilibres déterminés à partir des graphiques la valeur de correction :

$$\Delta pH = 3,6I8\sqrt{\mu}$$

Les résultats sont présentés aux tableaux ci-joints. Ils nous montrent que les eaux après le pompage sont les plus agressives. Celles de la crue et de la période précédant le pompage sont presque en équilibre vis-à-vis du carbonate de calcium. Néanmoins la saturation en CO_3Ca pour ces eaux n'est généralement pas atteinte.

N° des puits	CRUE			ETIAGE		
	μ	pH mesuré	pH d'équilibre	μ	pH mesuré	pH d'équilibre
Forage	$9,70.10^{-3}$	7,20	7,37	$9,41.10^{-3}$	6,30	7,40
P_I	7,95 "	7,60	7,47	-	-	-
P_2	6,65 "	7,50	7,91	-	-	-
P_3	4,14 "	7,60	8,23	-	-	-
P_4	10,19 "	7,50	7,27	$7,25.10^{-3}$	7,00	7,39
P_5	3,97 "	8,10	8,45	4,25 "	8,30	8,68
P_6	5,25 "	7,90	8,58	-	-	-
P_7	5,17 "	7,50	8,09	-	-	-
P_8	3,16 "	8,10	8,46	-	-	-
P_9	3,44 "	8,10	8,01	-	-	-
P_{10}	3,31 "	8,30	8,52	-	-	-
P_{11}	5,82 "	8,10	7,54	-	-	-
P.P.	15,00 "	7,60	7,05	-	-	-

Valeurs du pH d'équilibre avant et après le pompage

N° des puits	avant pompage			après pompage		
	μ	pH mesuré	pH d'équilibre	μ	pH mesuré	pH d'équilibre
Forage	$7,94.10^{-3}$	7,10	7,33	$10,09.10^{-3}$	6,30	8,56
P_I	7,50 "	7,70	7,57	7,22 "	7,10	7,61
P_2	6,25 "	7,50	7,99	6,59 "	7,30	8,00
P_3	4,16 "	7,80	8,25	4,25 "	7,50	8,26
P_4	7,55 "	7,90	7,62	9,34 "	7,30	7,48
P_5	4,16 "	8,30	8,53	4,06 "	8,10	8,56
P_6	5,25 "	8,20	8,42	8,45 "	7,80	8,61
P_7	6,89 "	7,10	7,72	7,15 "	6,60	8,09
P_8	5,85 "	7,10	7,73	6,48 "	6,90	7,79
P_9	12,56 "	7,10	7,23	12,29 "	7,20	7,10
P_{10}	3,71 "	8,10	8,45	4,38 "	7,40	8,54
P_{11}	14,62 "	7,00	7,49	15,22 "	8,10	7,37
P.P	14,45 "	7,70	7,08	15,59 "	7,30	7,10

- Le K_r -

Cet indice reflète la teneur en CO_2 de l'eau qui équilibre les bicarbonates et carbonates dissous. Autrement dit, il exprime la tension d'équilibre du CO_2 dans l'atmosphère surmontant l'eau ou bien encore, la quantité de carbonate de calcium qu'une eau peut dissoudre.

La valeur de K_r est donnée par la formule :

$$\log K_r = \frac{2 \log (rHCO_3) + \log (rCa)}{3}$$

Nous avons calculé les valeurs du K_r à l'aide de cette formule, ainsi qu'à partir des diagrammes semi-logarithmiques H.SCHOELLER "K'_r". Les résultats obtenus ont été semblables. Les valeurs trouvées pour le point S qui est fonction de la force ionique μ et de la température envisagée à 20°C par la règle de référence, sauf dans le cas du puits préhistoire, sont généralement toutes supérieures à K'_r. Les eaux étudiées ont donc un K'_r faible (I,09 à 4 milliéquivalents). Seul le puits Préhistoire a un K'_r plus élevé (5 à 6 milliéquivalents) ceci est dû à la nature calcaire des parois de ce puits.

Valeurs K'_r et S

N° des puits	C R U E		E T I A G E		Avant pompage		Après pompage	
	K'_r	S	K'_r	S	K'_r	S	K'_r	S
Forage	3,80	3,80	3,55	3,80	4	3,75	2,57	3,80
P_I	3,45	3,77	-	-	3,I6	3,70	2,90	3,73
P_2	2,05	3,72	-	-	I,83	3,67	I,84	3,70
P_3	I,36	3,67	-	-	I,37	3,65	I,36	3,67
P_4	4,28	3,80	3,75	3,75	3,05	3,70	3,50	3,78
P_5	I,20	3,65	0,93	3,60	I,09	3,65	I,07	3,67
P_6	I,05	3,70	-	-	I,08	3,68	0,95	3,77
P_7	I,59	3,70	-	-	2,52	3,72	I,53	3,72
P_8	I,20	3,60	-	-	2,I0	3,69	2,3I	3,70
P_9	I,88	3,73	-	-	3,70	3,82	3,83	3,82
P_{IO}	I,I4	3,63	-	-	I,28	3,65	0,97	3,67
P_{II}	I,80	3,77	-	-	3,32	3,90	3,93	3,9I
P.P.	6,02	3,90	-	-	5,80	3,90	5,80	3,92

- Produit de solubilité S du SO_4Ca -

Ce produit exprimé en milliéquivalents est donné par la relation :

$$\log S = I,2 \log \left(\left[rSO_4^{--} \right] \left[rCa^{++} \right] \right)$$

La force ionique pour les eaux analysées est très faible et toujours inférieure à 0,062. Elle a pour maximum $I5,59.IO^{-3}$ dans le puits préhistoire après le pompage correspondant à S = 6,45 milliéquivalents par litre. Les valeurs de S_o sont sensiblement plus fortes et se trouvent en-dessus de S. Ces eaux sont donc peu saturées.

- Indice de déséquilibre chlore-alcalin (i.e.b.) -

Les valeurs de cet indice en crue et en étiage sont négatives, traduisant une augmentation du (Na + K) dans la nappe. Ce qui signifie que les ions alcalino-terreux de l'eau (Ca + Mg) se sont échangés contre les ions alcalins (Na + K) de la roche, en l'absence de déséquilibre d'origine. Ainsi le taux en calcium a diminué et celui des sulfates a augmenté (légérement). Il semble que l'on puisse attribuer le signe de ces valeurs à la présence du passage argileux et à l'existence d'éléments ferriques : (nous avons constaté à la loupe binoculaire la présence de traces de magnétite parmi les sables).

Quant aux analyses effectuées avant et après le pompage, ils ne se présentent des valeurs positives que pour les piézomètres 7 et II, et cette valeur positive correspond à la période après le pompage, traduisant peut-être une fixation des ions (Na + K) et ainsi cet échange de bases au sens négatif entraîne une diminution du taux de magnésium (2,I9mg/l) et une augmentation du taux de calcium (8 mg/l) dans le cas P_{II}. C'est pourquoi il se manifeste un rapport rMg/rCa plus faible après le pompage pour ces piézomètres :

N° des piézomètres	rMg/rCa avant pompage	rMg/rca après pompage	i.e.b. avant pompage	i.e.b. après pompage
P_7	0,40	0,29	- 0,064	+ 0,008
P_{II}	0,45	0,40	- 0,0I2	+ 0,046

Cet échange consiste en une absorption des ions alcalino-terreux des eaux, Ca et Mg, par le terrain et, en contre partie en une libération des ions alcalins, Na et K de la roche. En effet on voit que dans l'eau provenant de ces deux piézomètres avant le pompage, il y avait autant de r(K + Na) que de rCl, mais au cours du pompage, il se produit un échange dû à la circulation de l'eau des alcalino-terreux contre des alcalins. Rappelons que dans le puits préhistoire, avant et après le pompage l'indice d'échange de bases est positif.

- ETUDE DE LA CONCENTRATION DE L'EAU -

- Ligne de courant : La comparaison des diagrammes H.SCHOELLER, nous fait facilement apercevoir qu'il ne se produit pas une augmentation des sels d'amont en aval de la nappe. D'abord le parcours est trop faible pour qu'elle se fasse sentir. Ensuite on voit une distribution sinon anarchique, du moins irrégulière de la concentration et de la distribution des éléments.

La raison en est qu'il s'agit vraisemblablement de l'hétérogénéité de l'aquifère. L'augmentation de concentration entraîne une certaine diminution de résistivité et réciproquement une augmentation du dégré hydrotimétrique total.

Concentration de l'eau d'amont en aval en meq/l

C : crue E : étiage P5 : amont P4 : aval R : résistivité en Ω par cm.

N°	R		D.H.T.		rCa		rMg		r(Na+K)		rCl		rSO4		RHCO3	
	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E
P5	3074	2920	5	4,2	0,56	0,4	0,44	0,44	2,32	2,43	I,I0	I,20	0,4I	0,87	I,70	I,40
P4	I358	I600	30	22	5,04	3,6	0,97	0,89	I,72	I,83	I,30	I,40	0,93	I,37	3,80	3,80

Concentration de l'eau d'amont en aval en meq/l

A.P. : avant pompage F.P. : fin pompage

N°	R		D.H.T.		rCa		rMg		r (Na+K)		rCl		rSO4		rHCO3	
	A.P	F.P	A.P	F.P	A.P	F.P	A.P	F.P	A.P	F.P	A.P	F.P	A.P	F.P	A.P	F.P
P5	3I29	3I50	4,9	4,8	0,52	0,48	0,46	0,48	2,4I	I,3I	I,20	I,I5	0,58	0,57	I,60	I,60
P4	I937	I650	I7,4	22,4	2,68	3,6	0,8I	0,89	I,84	I,78	I,30	I,20	0,87	I,6I	3,25	3,5

- Le calcium -

Il peut avoir deux origines ; d'une part carbonates et bicarbonates solubles à cause de la tension en CO_2, d'autre part, le sulfate de calcium avec une faible solubilité. La teneur de calcium décroît à partir du forage vers l'extérieur mais une élévation aux PII, I2 et 4. La plus faible se rencontre dans le P9 avant le pompage (5,6 mg/l). Tandis qu'à la fin du pompage on constate une croissance suffisamment grande de calcium dans ce même piézomètre (I08 mg/l).

- Le magnésium -

Dans le cas le plus général le magnésium provient des dolomies $\left[(CO_3)_2\ Mg + Ca\right]$ et du gypse. En plus les argiles jouent également un grand rôle dans cet apport. En l'absence de formations dolomitiques ou gypseuses et en présence de la lentille argilo-silteuse à une profondeur de 6,5 - 7m, et du passage d'argile rouge à I2,25 - I2,65m (qui se présente comme la couche aquifère) nous pouvons admettre que du magnésium provient des argiles dans le domaine de notre étude. Les eaux sont toujours plus chargées en Ca qu'en Mg. La teneur en Mg varie irrégulièrement, cependant la zone formée par PII, P9, P_2, présente toujours un maximum. Par exemple, parmi les piézomètres la valeur minimum de Mg avant le pompage est donnée par le P_5 (en amont), et il prend 5,59 mg/l. Après le pompage, la teneur minimum en Mg se vérifie au même piézomètre.

- Sodium et potassium -

Le Na tire son origine principalement du Cl Na renfermé dans les roches sédimentaires, de celui contenu dans l'eau de pluie et rarement de $NaCO_3$ ou Na_2SO_4. Le K est associé à Na. Pour ces ions nous observons une distribution inverse de celle des ions Ca. On pourrait supposer que cela est dû à un effet d'échange des bases. Les teneurs des ces ions augmentent en étiage et après le pompage.

- Sulfate en SO_4 -

De la même façon que nous avons constaté pour le Mg, la concentration de SO_4 est également très faible, et en période de crue elle est même nulle pour P8 et P_{IO}. On voit que la concentration en SO_4 a aussi une distribution irrégulière, nous pouvons aussi constater que le rapport rSO_4/rCl varie d'une façon similaire. Donc là où se produit une augmentation de rSO_4/rCl il se manifeste une certaine diminution pour les rapports rNa/rCa et rNa/rMg et il en est de même pour lès rapports suivants :

N° des puits	$\frac{r\ SO_4}{r\ Cl}$	$\frac{r\ Na}{r\ Ca}$	$\frac{r\ Na}{r\ Mg}$
P_8	0 + ε	3,06	2,62
P_{IO}	0 + ε	3,95	2,63
P.P	I,90	0,I4	I,40

Notons que dans le cas du puits préhistoire (P.P) il y a toujours une concentration appréciable de SO_4 et de Ca en toutes les mesures par rapport au forage et les piézomètres observés.

- Le fer -

Sauf pour le forage (après pompage) et le puits préhistoire (avant pompage et en période de crue) qui ont une teneur en fer inférieure à Img/l, l'eau des autres piézomètres est très chargée en fer. Cet ion oscille de 27mg/l (P_6) à 2,9 mg/l (P_8) au moment de la crue et de 9 mg/l (P_4) à 4 mg/l (P_5) à l'époque de l'étiage.

L'origine de fer peut être dûe à l'altération des minéraux ferro-magnésiens des sables de la nappe aquifère étudiée.

Nous parlerons des ions rCl et $rHCO_3$ au chapitre des analyses partielles. Les résultats des rapports calculés sont présentés aux tableaux ci-joints.

Les valeurs concernant crue et étiage

N°des puits	rSO_4/rCl		rMg/rCa		$rHCO_3/rCa$		r(Ca+Mg)/r(Na+K)	
	crue	étiage	crue	étiage	crue	étiage	crue	étiage
F	I,52	I,28	0,I5	0,I5	0,70	0,54	4,25	3,50
P_I	0,94	-	0,I7	-	I,30	-	2,66	-
P_2	0,79	-	0,45	-	I,07	-	I,5I	-
P_3	0,37	-	0,45	-	I,29	-	I,II	-
P_4	0,7I	0,97	0,I9	0,24	0,75	I,05	3,49	2,45
P_5	0,37	0,73	0,78	I,II	3,03	3,50	0,43	0,34
P_6	0,49	-	0,85	-	I,50	-	0,56	-
P_7	0,I3	-	0,54	-	I,60	-	I,6I	-
P_8	0 + ε	-	I,I6	-	3,95	-	0,62	-
P_9	0,47	-	0,78	-	I,48	-	0,92	-
P_{IO}	0 + ε	-	I,50	-	4,75	-	0,55	-
P_{II}	0,44	-	I,40	-	2,7I	-	I,05	-
P.P	I,90	-	0,I0	-	0,67	-	6,I3	-

Les valeurs concernant avant et après pompage

N°des puits	rSO_4/rCl		rMg/rCa		$rHCO_3/rCa$		r(Ca+Mg)/r(Na+K)	
	avant	après	avant	après	avant	après	avant	après
F	I,66	I,26	0,I5	0,I9	0,95	0,40	5,72	3,05
P_I	0,72	I,08	0,22	0,20	I,05	I,00	2,37	2,52
P_2	0,72	0,83	0,46	0,5I	I,05	I,I0	I,28	I,27
P_3	0,47	0,52	0,48	0,62	I,49	I,60	I,00	I,00
P_4	0,67	I,33	0,30	0,24	I,2I	0,97	I,89	2,52
P_5	0,48	0,49	0,88	0,72	3,07	3,33	0,40	0,4I
P_6	0,44	0,55	0,68	0,52	I,36	I,54	0,55	0,53
P_7	0,62	0,69	0,40	0,29	I,08	0,60	2,20	2,3I
P_8	0,58	0,73	0,32	0,9I	0,99	0,97	I,7I	I,90
P_9	I,00	0,88	0,22	0,24	0,53	0,59	2,87	2,98
P_{IO}	0,I7	0,58	I,34	0,9I	4,45	2,80	0,55	I,88
P_{II}	0,90	0,88	0,45	0,40	0,42	0,49	3,3I	3,56
P.P	I,50	2,0I	I,00	0,42	0,66	0,68	6,I0	5,67

C H A P I T R E - II

Les analyses partielles ont porté sur la mesure du pH, de la résistivité, de la teneur en chlorure (ion Cl^-) et de la teneur en bicarbonate (ion HCO_3^-) et carbonate (ion $CO_3^=$). Ces mesures ont été réalisées une fois par mois, d'avril 1965 à mars 1966 et les résultats de ces mesures sont présentées à l'annexe C.

- I/ Le pH -

Les mesures ont été effectuées au laboratoire avec un pH mètre électrique dans un délai le plus court possible après prélèvement. Du début des mesures jusqu'au mois d'août, les eaux étaient généralement neutres ou basiques, quelquefois légèrement acides, leur pH $\leq 8,3$. Mais à partir du mois de septembre jusqu'à la fin des mesures le pH était plus élevé. Cette augmentation des valeurs du pH se faisait particulièrement aux piézomètres n°2, 3, 5, 6, 8, 9, 10, 11 atteignant pH $> 8,3$. L'annexe "C" montre que les pH sont compris entre 6,90 - 9,50 en période d'étiage et entre 7,20 - 8,30 à l'époque de crue. Les variations annuelles du pH pour le forage, le puits préhistoire et les piézomètres n°1, 3, 4, 5 sont indiquées sur les Pl. 30 - 35. De ce fait on voit que les valeurs du pH sont légèrement plus élevées à l'étiage qu'à la crue. Cela est dû peut-être à l'apport d'eaux de pluie un peu acides lors de l'alimentation de la nappe.

- 2/ La résistivité -

Nous avons déterminé la mesure de la résistivité au laboratoire et les valeurs trouvées ont été amenées à 20°C suivant la relation :

$$S_o = S_T \, I/A'$$

Ces valeurs nous renseignent sur les variations de la minéralisation de l'eau dans son parcours souterrain. Nous savons que dans le cas général d'une nappe que la minéralisation augmente d'amont en aval. Les

résistivités varieront donc en sens inverse et les valeurs de la résistivité sont par conséquent en rapport avec le sens d'écoulement. Cependant il n'en est pas ainsi ici. La départition de la résistivité est irrégulière. Cependant il tend à y avoir un minimum à P_{II}, P_9, P_F, P_4 et P_{I2}. Plus la concentration de l'eau en sel diminue, plus la résistivité augmente en période de crue. Pourtant ce phénomène est considérablement perturbé. Lors de la remontée d'automne et d'hiver il se produit une nouvelle augmentation de résistivité qui est contrariée par l'apport important des sels minéraux mis en réserve par l'évapotranspiration de la fin de l'étiage. Dès que cet apport, étranger aux pluies qui alimentent de nouveau la nappe disparaît, la résistivité augmente pour atteindre sa valeur maximum lors de la grande crue de printemps.

- 3/ Le chlore (Cl^-) -

On peut considérer une origine double pour ceci : une partie du chlore de la nappe est dû à la pluie alimentant l'aquifère, l'autre partie provient du contact des eaux souterraines avec des sédiments. Les mesures mensuelles montrent que la distribution de la concentration en chlore est aussi assez irrégulière. Il y a cependant une zone à maxima correspondant à P_{II}, P_6, P_2 et P_9. Il augmente au début de la crue. Schématiquement on peut dire que ceci est dû au lessivage des premières pluies d'automne reprenant le chlore précipité dans le sol lors de l'évapotranspiration estivale. Sa variation annuelle prend l'ordre de I5,97 mg/l (forage à 24I,40 mg/l (P.P) voir annexe C. Voir Marc SCHOELLER "Recherches sur l'acquisition de la composition chimique des eaux souterraines".

- 4/ Le titre alcalimétrique : (T.A.) -

Représente la teneur en ion ($HCO_3^- + CO_3^=$) et en acides organiques. Généralement sa concentration varie dans le même sens que la concentration en Ca^{++}.

Nous l'avons déterminé par titrimétrie avec H_2SO_4 N/I0 en présence de méthylorange pour pH $\ll$ 8,3 et en présence de phénolphétaline pour pH $>$ 8,3. Nous avons combiné les valeurs trouvées en les apportant

à l'annexe C, exprimées en milligrammes par litre. Les dosages effectués sur un des échantillons prélevés pendant une période de I2 mois permettent de noter que l'alcalinité totale est plus faible en période de crue. Une statistique de tous les dosages indique que les valeurs du (T.A.) varient dans une limite assez grande et cette variation est de l'ordre de 6I mg/l à 408,70 mg/l. De ce fait on peut constater à l'annexe C que l'eau de la nappe est assez chargée en Ca^{++}, comme nous l'avons vu aussi en étudiant le K_r. Ceci pourraît être dû au contact de l'eau des alluvions avec le substratum calcaire stampien. On a établi des courbes de variation de bicarbonates, combinées en fonction du temps sur les mêmes graphiques que pour les variations du Cl, résistivité et pH dans les Pl.30-35 . On peut constater qu'au moment de la crue il y a une décroissance en ion $HCO_3 + CO_3$. Tout au long de l'étiage en régle générale, la concentration en bicarbonates augmente alors que le niveau baisse, ceci s'explique par le fait que la teneur en CO_2 n'atteint son maximum qu'en automne (Thèse de Marc Schoeller).

- CONCLUSION -

L'étude géochimique de la nappe plio-quaternaire nous a permis de confirmer certains phénomènes qui se manifestent au cours de cette étude : les eaux de la nappe sont caractérisées par un degré hydrotimétrique total toujours inférieur à 50° français, donc elles prennent l'état entre les eaux très douces et dures, un pH neutre ou à tendance plus basique, une force ionique très petite, de même qu'une minéralisation faible, une teneur en fer souvent excessive et toujours supérieure à la teneur limite concernant l'usage domestique et nécessitant une déferrisation, une teneur en sulfate de calcium très faible.

L'évolution des ions se fait avec une augmentation de leur concentration d'une manière irrégulière, (Na + K) varie en sens inverse, ce qui est peut être dû a l'effet d'échange des bases.

Les valeurs de la résistivité sont en rapport avec le sens d'écoulement divergent de la nappe.

-=-=-=-=-

C O N C L U S I O N S G E N E R A L E S

- = - = -

Au cours de cette étude nous avons souligné les faibles valeurs de la transmissivité et du coefficient d'emmagasinement des terrains aquifères de la nappe étudiée.

Celles-ci entrainent des possibilités très limitées d'exploitation. La nappe est peu productive.

Grâce à sa situation et à l'équipement du terrain expérimental, nous avons pu étudier l'évolution du cône de dépression qui très rapidement ne suit plus les lois du régime transitoire et précise ainsi l'effet d'égouttement du terrain. D'ailleurs cette étude nous a montré que les variations d'humidité par rapport à l'eau de gravité sont très petites et présentent une valeur voisine à $H_V \simeq S$.

D'après l'étude du bilan de la nappe nous avons vu que la plus grande partie de l'eau débitée provient de l'écoulement souterrain, car le volume d'eau obtenu par la variation d'humidité du cône de vidange n'en est que le dixième.

L'évolution dans les concentrations des éléments chimiques que nous avons constatée sur une aussi faible territoire permettent de mettre en évidence le rôle des phénomènes intervenant lors de l'infiltration dans l'acquisition de la composition chimique des eaux souterraines.

- = - = - = -

A N N E X E - A

- RESULTATS DE GRANULOMETRIE -

Ø : ouverture des mailles et diamètre des grains en mm.

Pr.f.: Profondeur de la nappe en mètre

GRANULOMETRIE : POURCENTAGES CUMULES

Alluvions Plio-quaternaires

Tamis N°	ø	Pr. f 2,30 - 2,80	Pr. f 3,80 - 4,30	Pr. f 4,80 - 5,00	Pr. f 5,60 - 6,00	Pr. f 6,00 - 6,25
38	5,00	99,45	99,45	99,45	99,45	99,70
37	4,00	96,55	98,30	97,05	96,I5	98,80
36	3,I5	96,I0	97,80	96,85	96,I5	98,65
35	2,50	95,75	97,30	96,50	96,05	98,50
34	2,00	95,75	97,30	96,I5	95,85	98,45
33	I,60	95,55	97,20	96,I5	95,85	98,45
32	I,25	94,I5	96,85	95,85	95,75	98,40
3I	I,00	94,I0	96,35	95,40	95,50	98,20
30	0,80	9I,I5	93,85	93,95	93,60	97,50
29	0,63	87,90	90,55	9I,95	9I,05	95,80
28	0,50	83,50	85,20	88,60	87,35	93,I5
27	0,40	70,20	7I,65	79,I5	75,I5	82,95
26	0,3I5	55,70	56,25	62,85	56,95	64,60
25	0,250	29,50	33,75	38,30	29,65	3I,85
24	0,200	I3,45	24,05	20,90	9,45	I0,50
23	0,I60	4,20	3,65	4,65	3,I0	3,30
22	0,I25	2,55	I,75	2,05	I,75	2,20
2I	0,I00	I,00	0,50	0,40	0,75	0,80
20	0,080	0,80	0,40	0,25	0,60	0,65
I9	0,063	0,65	0,35	0,20	0,50	0,55
I8	0,050	0,55	0,30	0,I5	0,40	0,45
I7	0,040	0,40	0,25	0,I0	0,25	0,30
Fod	-	0,30	0,20	0,08	0,20	0,20

GRANULOMETRIE : POURCENTAGES CUMULES

Alluvions Plio-quaternaires

Tamis N°	∅	Pr. f 6,25 - 6,50	Pr. f 6,50 - 7,00	Pr. f 7,00 - 7,25	Pr. f 7,25 - 7,50	Pr. f 7,50 - 7,75
38	5,00	99,65	99,45	99,60	99,90	99,45
37	4,00	97,30	-	99,40	97,95	98,55
36	3,I5	97,I5	-	99,25	97,65	98,55
35	2,50	96,85	-	99,05	97,60	98,25
34	2,00	96,45	-	98,80	97,45	98,I5
33	I,60	96,45	98,90	98,70	97,35	98,00
32	I,25	96,05	98,80	98,00	97,I0	97,90
3I	I,00	95,54	98,65	97,20	96,60	97,55
30	0,80	93,25	98,I0	94,20	94,55	95,80
29	0,63	90,40	97,25	90,75	9I,I5	92,30
28	0,50	86,60	96,00	86,95	86,65	87,60
27	0,40	74,45	93,I5	75,70	73,95	73,50
26	0,3I5	56,70	88,50	60,70	54,95	58,45
25	0,250	3I,70	82,55	39,25	33,I0	3I,00
24	0,200	I2,85	72,20	22,60	I3,35	I4,20
23	0,I60	5,30	63,40	II,00	6,55	7,I5
22	0,I25	3,85	56,50	8,75	5,I5	6,I0
2I	0,I00	2,00	47,00	5,25	3,40	3,80
20	0,080	I,70	40,70	4,45	2,85	3,30
I9	0,063	I,45	37,05	3,85	2,45	2,85
I8	0,050	I,I5	3I,40	3,I5	2,I0	2,35
I7	0,040	0,85	I5,50	2,35	I,60	I,80
Fod	-	0,65	8,I0	I,80	I,25	I,30

GRANULOMETRIE : POURCENTAGES CUMULES

Alluvions Plio-quaternaires

Tamis N°	ϕ	Pr. f 7,75 - 8,00	Pr. f 8,00 - 8,37	Pr. f 8,37 - 8,62	Pr. f 8,62 - 9,00	Pr. f 9,00 - 9,30
38	5,00	99,45	-	99,50	99,55	-
37	4,00	98,05	99,55	99,20	99,00	-
36	3,I5	98,05	99,25	99,20	98,80	99,99
35	2,50	97,95	99,25	99,05	98,70	99,75
34	2,00	97,80	99,00	98,90	98,70	99,40
33	I,60	97,70	98,90	98,80	98,70	99,35
32	I,25	97,20	98,75	98,60	98,35	99,I5
3I	I,00	96,20	98,25	98,40	98,05	98,90
30	0,80	93,60	96,05	97,75	97,30	98,00
29	0,63	89,95	93,I5	96,I0	95,80	96,75
28	0,50	84,I0	89,45	92,90	93,35	95,05
27	0,40	70,00	78,65	82,60	84,85	88,80
26	0,3I5	46,90	65,55	64,60	70,55	76,30
25	0,250	25,65	38,85	44,00	47,85	54,45
24	0,200	I7,40	I9,25	2I,20	24,35	28,I5
23	0,I60	7,45	I0,45	II,I0	I0,45	I3,95
22	0,I25	5,70	7,95	8,I0	7,95	II,45
2I	0,I00	3,60	4,35	4,35	3,60	4,95
20	0,080	3,I0	3,5	3,50	3,00	3,85
I9	0,063	2,60	2,95	3,00	2,35	3,I0
I8	0,050	2,I0	2,25	2,30	I,80	2,25
I7	0,040	I,50	I,60	I,45	I,25	I,45
Fod	-	I,I5	I,00	0,90	0,80	I,00

A N N E X E - b

- RESULTATS DES PROFILS HYDRIQUES -

Alluvions quaternaires de la terrasse moyenne. a^{Ia}.

Hv : l'humidité exprimée en pourcentage de volume d'eau

n : porosité totale

Pr.f : profondeur en mètre.

PROFIL HYDRIQUE N° A : Date de creusage, le 22 novembre I965. Talence.

Niveau piézomètrique par rapport au sol : 9,58

- Coupe lithologique : (confer Pl.7)

Pr.f en mètre	Poids d'échantillon humide	Poids d'échantillon sec	volume d'échantillon sec	volume d'eau	H_V %	m %
0 - 0,50	200 g	I80,30 g	II3 cm^3	I9,70 cm^3	I7,43	27,5
0,50 - I,00	200	I87,30	I06	I2,70	II,98	24
I,00 - I,30	200	I85,40	II5	I4,60	I2,70	28
I,30 - I,50	200	I85,50	II5	I4,50	I2,60	30
I,50 - 2,30	200	I86,85	II5	I3,I5	II,43	29
2,30 - 2,80	200	I86,56	II0	I3,44	I2.22	28
2,80 - 3,00	200	I84,45	I09,50	I5,55	I4,24	30
3,00 - 3,30	200	I83,53	I05,00	I6,47	I5,68	26
3,30 - 3,80	200	I87,I6	II5,00	I2,84	II,I6	28
3,80 - 4,30	200	I89,82	III,50	I0,I8	9,I3	28
4,30 - 4,80	200	I89,20	II2,00	I0,80	9,64	30
4,80 - 5,00	200	I89,60	II9,50	I0,40	9,00	30
5,00 - 5,60	200	I87,I7	II6,00	I2,83	II,00	32
5,60 - 6,00	200	I84,85	II9,50	I5,I5	I3,I4	33
6,00 - 6,25	200	I85,26	I20,00	I4,74	I2,28	34
6,25 - 6,50	200	I82,03	II9,00	I7,97	I5,I0	33
6,50 - 6,75	200	I73,22	II3,00	26,78	23,70	39
6,75 - 7,00	200	I73,00	III,00	27,00	24,32	36
7,00 - 7,25	200	I82,86	II3,00	I7,I4	I5,00	35
7,25 - 7,50	200	I84,57	II3,50	I5,43	I3,59	32
7,50 - 7,75	200	I84,09	II2,50	I5,9I	I4,I4	3I
7,75 - 8,00	200	I84,94	II6,00	I5,06	I3,00	32
8,00 - 8,37	200	I80,00	III,50	20,00	I7,93	32
8,37 - 8,62	200	I76,00	II5,00	24,00	20,09	34
8,62 - 9,00	200	I75,00	II2,50	25,00	22,22	33
9,00 - 9,30	200	I75,02	I09,00	24,98	22,94	3I

PROFIL HYDRIQUE N° I : Date du creusage, le 7 mai I965. Talence.

Niveau piézomètrique par rapport au sol : 6,02m.

- Coupe lithologique : (confer Pl.8)

Pr. f en mètre	Poids d'échantillon humide	Poids d'échantillon sec	volume d'échantillon sec	volume d'eau	Hy %	m. %
0 - 0,70	452,8 g	434,2 g	255 cm^3	I8,6 cm^3	7,30	27
0,70 - I,20	470,2	447,9	26I	22,3	8,54	29
I,20 - I,35	402,3	382,9	232	I9,4	8,36	34
I,35 - I,60	403,2	378,7	234	24,5	I0,47	30
I,60 - 2,00	360,6	340,6	2I0	20,0	9,52	32
2,00 - 2,70	475,I	445,4	280	29,7	I0,60	34
2,70 - 3,I0	477,7	444,5	262	33,2	I2,67	26
3,I0 - 3,50	482,3	453,00	260	29,3	II,27	25
3,50 - 4,60	446,6	43I,7	25I,5	I4,9	5,92	29
4,60 - 5,60	500,2	465,6	293,0	34,6	II,80	33
5,60 - 6,I0	532,9	493,8	300	39,I	I3,00	32

PROFIL HYDRIQUE N° 2 : Date de creusage, le I8 mai I965. Talence.

Niveau piézomètrique par rapport au sol : 6,0I m.

- Coupe lithologique : (confer Pl.9)

Pr.f en mètre	Poids d'échantillon humide	Poids d'échantillon sec	volume d'échantillon sec	volume d'eau	Hv %	m. %
0 - 0,50	8I g	77,4 g	49 cm^3	3,6 cm^3	7,34	30
0,50 - I,00	I62,4	I57,2	89	5,2	5,84	3I,5
I,00 - I,20	230,7	2I3,3	I28	23,4	I8,28	32
I,20 - I,25	390,4	36I,3	230	29,3	I2,74	32
I,25 - I,50	380,8	3I3,5	22I	I9,5	8,82	3I
I,50 - I,70	330,0	363,5	I9I	I6,5	8,63	33
I,70 - I,90	385,0	3I5,6	2I2	2I,5	I0,I4	32
I,90 - 2,I0	335,8	239,8	I87	20,2	I0,80	30
2,I0 - 2,30	252,8	307,5	I45	I3,0	8,96	30
2,30 - 2,50	3I9,2	307,5	I86	II,7	6,29	3I
2,50 - 2,65	375,3	348,2	207	27,I	I3,08	3I
2,65 - 3,00	374,0	342,4	I94	3I,6	I6,28	29
3,00 - 3,25	358,4	332,4	I90	26,0	I3,68	28
3,25 - 4,00	387,4	362,4	220	25,0	II,36	30
4,00 - 5,00	372,4	350,7	226,5	2I,7	9,58	35
5,00 - 6,00	425,2	378,3	230,0	46,9	20,39	34

PROFIL HYDRIQUE N° 3 : Date de creusage, le 26 mai 1965. Talence.

Niveau piézomètrique par rapport au sol : 6,II m.

- Coupe lithologique : (confer Pl.IO)

Prof en mètre	Poids d'échantillon humide	Poids d'échantillon sec	volume d'échantillon sec	volume d'eau	H_V %	m. %
0 - 0,60	3I8,I g	303,6 g	I73 cm^3	I4,5 cm^3	8,38	3I
0,60 - I,04	493,7	477,6	266,5	I6,I	6,04	28
I,04 - I,50	465,2	443,8	267,5	2I,4	8,00	34
I,50 - 2,00	438,7	4I9,8	243,5	I8,9	7,76	3I
2,00 - 2,50	567,2	525,9	309,0	4I,3	I3,36	30
2,50 - 3,00	476,2	444,5	25I,0	3I,7	I2,63	28
3,00 - 3,50	427,2	395,I	232,5	32,I	I3,8I	32
3,50 - 4,35	525,2	488,2	3II,0	37,0	II,90	35
4,35 - 4,50	290,3	280,0	I80,0	I0,3	5,70	34
4,50 - 5,20	284,0	257,0	I6I,5	27,0	I6,7I	35
5,20 - 6,I2	330,7	288,8	I82,5	4I,9	29,53	34

PROFIL HYDRIQUE N° 4 : Date de creusage, le 2 juillet I965. Talence.

Niveau piézomètrique par rapport au sol : 6,I2 m.

Coupe lithologique (confer Pl.II)

Prof en mètre	Poids d'échantillon humide	Poids d'échantillon sec	volume d'échantillon sec	volume d'eau	Hv %	m. %
0 - 0,50	I67,3 g	I60,2 g	97,3 cm^3	7,I cm^3	7,29	3I
0,50 - I,00	200,I	I9I,5	II2	8,6	7,68	29
I,00 - I,50	368,2	35I,3	2I2	I6,9	7,98	32,5
I,50 - 2,00	4I4,4	395,8	228	I8,6	8,I6	3I
2,00 - 2,50	4I7,6	383,7	2I5	33,9	I5,76	27,5
2,50 - 3,00	440,8	4I0,4	234	30,4	I3,00	32
3,00 - 3,50	405,0	379,8	226,2	25,2	II,I4	33
3,50 - 4,00	232,8	222,0	I32,0	I8	8,I8	34
4,00 - 4,50	267,6	256,4	I54,0	II,2	7,27	35,5
4,50 - 5,20	389,2	365,2	229,0	24,0	I0,48	35,5
5,20 - 6,I0	36I,I	3I8,2	203	42,9	2I,I3	34

PROFIL HYDRIQUE N° 5 : Date de creusage, le 28 mai I965. Talence.

Niveau piézomètrique par rapport au sol : 6,05 m.

Coupe lithologique (confer Pl.I2)

Prof en mètre	Poids d'échantillon humide	Poids d'échantillon sec	volume d'échantillon sec	volume d'eau	H_V %	m. %
0 - 0,60	355,3 g	340 g	200 cm^3	I5,3 cm^3	7,65	29
0,60 - I,00	325,2	3I5	I62	9,4	5,80	30
I,00 - I,50	433,I	4I2,5	245,5	20,6	8,35	33
I,50 - I,75	400,0	378,0	2I6,0	22,0	I0,I8	30
I,75 - 2,25	4II,6	385,6	23I,5	26	II,22	32
2,25 - 3,20	457,7	430,5	240,0	27,2	II,33	27
3,20 - 3,80	385,8	368,4	208,0	I7,4	8,36	28
3,80 - 5,00	474,2	454,3	274,5	I9,9	7,25	35
5,00 - 6,00	474,5	425,9	265,0	48,6	I8,34	35

PROFIL HYDRIQUE N° 6 : Date de creusage, le 28 mai I965. Talence.

Niveau piézomètrique par rapport au sol : 6,05 m.

Coupe lithologique : (Confer Pl.I3)

0 - I,00	3I0,9	300,4	I57	I0,5	6,68	30
I,00 - I,40	347,4	335,4	I86	I2	6,45	29
I,40 - I,70	324,7	3II,4	I84	I3,3	7,25	33
I,70 - 2,I0	362,6	339,I	I97,5	23,5	II,90	32
2,I0 - 2,40	402,6	374,8	2I3,0	27,8	I3,05	30
2,40 - 2,80	3I7,5	304,2	I7I,0	I3,3	7,77	30
2,80 - 3,30	378,6	347,0	205,0	3I,6	I5,4I	34
3,30 - 3,80	346,6	322,2	I8I,0	24,4	I9,00	28
3,80 - 5,00	322,3	305,0	I88,5	I7,3	9,I7	35
5,00 - 6,00	343,6	3I0,4	I90,0	33,2	I7,47	34

A N N E X E - C

-=-=-=-

- ANALYSES CHIMIQUES -

R : résistivité (en ohms/cm^2/cm)

D.H.T : dégré hydrotimétrique total

T.A. : titre alcalimétrique "combiné" en milligrammes par litre

F. : forage

P. : piézomètre

P.P. : puits préhistoire

CRUE I965 - 26 mai I965

Analyses complètes (Plio-quaternaire)

Teneur en mg/l

	F	P_I	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8	P_9	P_{IO}	P_{II}	P.P
pH	7,20	7,60	7,50	7,60	7,50	8,IO	7,90	7,50	8,IO	8,IO	8,30	8,IO	7,60
R	I573	I930	2I45	32I7	I358	3074	2359	2574	4443	22I6	3503	22I6	I2I5
D.H.T.	27,60	20,00	I4,20	8,40	30,00	5,00	7,40	I2,00	5,20	9,60	5,00	II,00	43,20
Nitrates en N	25,00	-	-	-	22,00	-	-	-	-	-	-	-	8,50
Cl	32,00	35,50	49,70	39,05	46,I5	39,05	67,45	42,60	24,85	60,35	3I,95	49,70	49,70
SO_4	66,00	45,00	53,50	20,00	45,00	20,00	45,00	8,00	-	39,00	-	30,00	I28,00
Ca	96,00	68,00	39,20	23,20	I00,80	II,20	I6,00	3I,20	9,60	2I,60	8,00	I8,40	I56,80
Mg	8,75	7,29	IO,70	6,32	II,67	5,35	8,26	IO,2I	6,80	IO,2I	7,29	I5,56	9,73
Fe	20,00	3,60	I3,30	5,30	20,00	IO,00	27,00	6,66	2,90	6,66	4,00	6,66	0,45
HCO_3	207,40	2I3,50	I28,IO	9I,50	23I,80	I03,70	73,20	I52,50	II5,90	97,60	95,00	I52,50	323,30
CO_3Ca	I70,00	I75,00	I05,00	75,00	I90,00	85,00	6,00	I25,00	95,00	80,00	II5,90	I25,00	265,00
Na	23,00	28,00	36,50	29,00	32,50	43,00	54,00	3I,00	34,00	43,00	36,50	43,00	26,00
K	II,70	I2,IO	I2,IO	IO,00	I2,30	I8,20	IO,50	6,00	7,60	9,30	9,50	9,30	II,20

AVANT POMPAGE - 22 juin 1965

Analyses complètes

Teneur en mg/l

	F	P_I	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8	P_9	P_{IO}	P_{II}	P.P
pH	7,IO	7,70	7,50	7,80	7,90	8,30	8,20	7,IO	7,IO	7,IO	8,IO	7,00	7,70
R	20II	2086	2384	3427	I937	3I29	2460	2086	2309	I058	3278	938	II92
D.H.T.	23,20	I8,60	I2,80	7,70	I7,40	4,90	7,40	I6,80	I4,00	34,50	5,40	42,75	4I,75
Nitrites en NO_2	-	-	-	0,70	5,00	-	0,I6	6,60	I,00	6,66	-	8,00	-
Nitrates en N	5,00	-	I,00	-	0,60	I,00	0,60	2,50	6,66	40,00	-	50,00	I6,00
Cl	I5,97	39,05	5I,42	39,05	46,I5	42,60	69,22	46,I5	39,05	7I,00	33,72	88,75	5I,47
SO_4	36,00	38,00	50,00	25,00	42,00	28,00	42,00	39,00	3I,00	96,00	8,00	I08,00	I04,00
Ca	80,80	60,80	35,20	20,80	53,60	I0,40	I7,60	48,00	42,40	5,60	9,20	II8,00	I52,00
Mg	7,29	8,26	9,78	6,08	9,37	5,59	7,29	II,67	8,26	I5,I8	7,54	32,I9	9,I2
Fe	5,70	2,42	6,I0	2,30	4,00	2,30	5,00	I6,00	I6,00	I6,00	2,50	26,00	0,80
HCO_3	234,85	I95,00	II2,85	94,55	I98,25	97,60	73,20	I58,00	I28,I0	I83,00	I25,05	I52,50	308,05
Na	I4,00	29,00	39,00	30,00	35,00	45,00	55,00	32,00	32,50	49,00	38,00	55,00	25,00
K	8,50	I2,20	I2,20	9,80	I2,50	I8,20	II,00	5,70	8,80	I0,40	II,60	7,80	II,60

APRES POMPAGE - 2 juillet 1965

Analyses complètes

Teneur en mg/l

	F	P_I	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8	P_9	P_{IO}	P_{II}	P.P
pH	6,30	7,IO	7,30	7,50	7,30	8,IO	7,80	6,60	6,90	7,20	7,40	7,IO	7,30
R	I500	2250	2250	3427	I650	3I50	2550	2I00	2I00	II25	3000	937	I275
B.H.T.	28,00	I7,40	I3,00	7,80	22,40	4,80	7,40	I6,40	I5,20	33,50	7,20	44,00	42,00
Nitrites en NO_2	0,07	-	-	-	I,60	0,44	0,02	2,30	I,60	4,00	5,70	3,20	0,0I
Nitrates en N	30,00	3,00	0,40	-	8,00	-	-	I0,00	6,50	25,00	-	40,00	6,00
Cl	53,25	35,50	53,25	39,05	42,60	40,82	69,22	5I,47	42,60	72,77	37,27	92,30	55,02
SO_4	90,50	52,00	60,00	27,50	77,00	27,50	52,00	48,00	42,60	88,00	8,00	II0,00	I50,00
Ca	94,40	57,60	34,40	I9,20	72,00	9,60	I6,80	43,20	47,20	I08,00	I5,20	I26,00	I50,00
Mg	I0,70	7,29	I0,70	7,29	I0,70	5,83	7,29	I3,62	8,26	I5,80	8,26	30,40	I0,94
Fe	0,I0	5,40	I3,30	5,00	6,20	2,00	5,30	I6,00	20,00	8,00	I,I0	I6,00	I,60
HCO_3	II5,90	I76,90	II5,90	97,60	2I3,50	97,60	79,30	79,30	I40,30	I95,20	I28,I0	I89,I0	3II,I0
Na	36,00	26,00	38,00	30,00	34,00	43,00	56,00	30,00	32,00	47,00	36,00	53,00	27,00
K	I0,I0	I0,I0	II,80	9,70	II,80	I7,20	I0,50	5,00	8,50	I0,20	II,00	7,00	I2,50

ETIAGE, septembre I965

Analyses complètes (Plio-quaternaire)

Teneur en mg/l

-=-=-

	Forage	P_4	P_5
pH	6,30	7,00	8,30
R	I3I4	I600	2920
D.H.T.	30,50	22,00	4,20
Nitrites : NO_2	0,26	0,33	0,40
Nitrates : N	30,00	-	-
Cl	46,I5	49,70	42,60
SO_4	86,60	66,00	42,00
Ca	I06,00	70,40	8,00
Mg	9,73	I0,70	5,35
Fe	9,00	9,00	4,00
HCO_3	I45,00	23I,80	85,40
CO_3Ca	I76,00	I90,00	70,00
Na	32,40	35,00	44,60
K	I3,50	I2,30	I9,00

Valeurs du pH électrométrique

mesuré d'avril 1965 à mars 1966

N°	25-4-65	26-5-65	22-6-65	2-7-65	24-8-65	25-9-65	13-10-65	29-11-65	21-12-65	11-1-66	10-2-66	10-3-66
F	6,85	7,20	7,10	6,30	6,60	7,20	6,80	6,60	6,10	6,50	6,35	6,80
P_1	7,60	7,60	7,70	7,10	7,30	7,90	7,40	6,80	6,10	6,90	7,70	8,00
P_2	7,85	7,50	7,50	7,30	8,55	9,50	8,40	7,60	8,40	8,85	8,75	8,95
P_3	7,80	7,60	7,80	7,50	8,30	8,2	8,20	7,00	7,20	8,45	8,45	8,55
P_4	7,40	7,50	7,90	7,30	6,62	7,60	7,20	7,20	7,40	7,35	7,65	8,00
P_5	7,50	8,10	8,30	8,10	8,30	9,15	8,40	8,00	8,30	8,60	8,35	8,60
P_6	7,80	7,90	8,20	7,80	8,06	8,25	8,30	8,20	8,40	9,00	8,80	8,75
P_7	7,40	7,50	7,10	6,60	6,50	8,05	7,30	6,80	6,20	7,00	7,40	7,70
P_8	7,80	8,10	7,10	6,90	7,35	9,00	8,40	7,60	8,30	8,80	8,85	9,00
P_9	7,60	8,10	7,10	7,20	7,45	9,50	8,60	8,20	8,40	8,90	8,85	9,00
P_{10}	7,85	8,30	8,10	7,40	7,57	9,20	8,40	8,00	8,40	8,80	9,25	9,50
P_{11}	7,90	8,10	7,00	7,10	6,60	8,55	8,20	7,90	8,20	9,20	9,30	9,50
P.P.	7,35	7,60	7,70	7,30	6,10	6,90	7,20	sec	7,20	7,40	7,30	7,35

Valeurs de la résistivité

(en ohms/cm^2/cm)

ramenée à 20°C

N°	25-4-65	26-5-65	22-6-65	2-7-65	24-8-65	25-9-65	I3-I0-65	29-II-65	2I-I2-65	II-I-66	I0-2-66	I0-3-66
F	I905	I573	20II	I500	2069	2234	I393	I328	I492	I507	I78I	I904
P_I	I820	I930	2086	2250	2340	2423	I935	2355	2475	26I8	2052	I687
P_2	2265	2I45	2384	2250	3I78	32I2	30I9	30I7	3728	3570	3097	30I5
P_3	3I97	32I7	3427	3427	36I3	3605	3445	2392	2684	2658	2400	2539
P_4	2540	I358	I937	I650	I930	I842	I703	I656	I923	I944	I78I	I662
P_5	33I6	3074	3I29	3I50	2956	2939	2787	2686	2609	26I8	278I	2697
P_6	3I33	2359	2460	2550	2792	2743	2594	2649	2758	2658	2477	2539
P_7	2585	2574	2086	2I00	238I	2690	25I6	2649	2535	2777	2440	2539
P_8	2882	4443	2309	2I00	2874	3096	3639	3569	3728	3967	37I6	3332
P_9	2423	22I6	I058	II25	2053	2273	2323	2465	25I2	2499	2400	2380
P_{I0}	3793	3503	3278	3000	3736	3723	3630	3900	3963	3976	356I	3253
P_{II}	24I6	22I6	938	937	I232	I37I	I548	I876	I960	2023	I897	I943
P.P	I25I	I2I5	II92	I275	I355	I450	I78I	sec	745	6II	6I9	6744

Valeurs du chlore

en mg/l de HNO_3 N/IO

N°	25-4-65	26-5-65	22-6-65	2-7-65	24-8-65	25-9-65	I4-IO-65	29-II-65	2I-I2-65	II-I-66	IO-2-66	IO-3-66
F	26,62	32,00	I5,97	53,25	48,63	39,05	5I,47	56,80	55,02	56,80	55,02	35,5
P_I	42,60	35,50	39,05	35,50	33,72	37,25	37,27	32,85	26,62	26,62	35,5	46,I5
P_2	55,02	49,70	5I,42	53,25	58,57	56,80	69,25	49,70	46,I5	42,60	49,70	53,25
P_3	40,82	39,05	39,05	39,05	44,37	46,I4	44,37	47,92	46,I5	47,92	56,80	55,02
P_4	67,45	46,I5	46,I5	42,60	53,I5	5I,47	55,02	5I,47	39,05	37,27	39,05	42,60
P_5	54,45	39,05	42,60	40,82	55,02	49,70	5I,47	53,25	49,70	49,70	5I,47	46,I5
P_6	65,67	67,45	69,22	69,22	66,38	63,90	67,45	60,35	67,45	65,67	62,I2	56,80
P_7	49,70	42,60	46,I5	5I,47	55,02	42,60	47,92	46,I5	47,92	49,70	56,80	58,57
P_8	3I,95	24,85	39,05	42,60	4I,53	35,50	33,72	32,85	35,50	35,50	40,82	40,82
P_9	63,90	60,35	7I,00	72,77	80,58	67,42	7I,00	67,45	62,I2	63,90	67,45	65,67
P_{IO}	37,27	3I,95	33,72	37,27	40,82	42,60	39,05	37,27	35,50	35,50	49,32	53,I5
P_{II}	55,02	49,70	88,75	92,30	88,75	83,42	79,87	78,I0	78,I0	79,87	88,75	86,97
P.P	62,I2	49,70	5I,47	55,02	65,65	58,57	49,70	sec	I66,85	24I,40	237,85	205,90

Titre alcalimétrique

combiné en mg/l de H_2SO_4 N/IO

T. A

N°	25-4-65	26-5-65	22-6-65	2-7-65	24-8-65	25-9-65	I4-IO-65	29-II-65	2I-I2-65	II-I-66	IO-2-66	IO-3-66
F	256,20	207,40	234,85	II5,90	2I3,50	2I6,55	I89,IO	I28,IO	I37,25	I40,30	I34,20	2I3,5
P_I	268,40	2I3,50	I95,00	I76,90	237,90	2IO,45	237,90	I83,00	207,40	I95,2	256,20	3II,I
P_2	I76,90	I28,IO	II2,85	II5,90	93,94	I25,05	79,30	76,25	85,40	98,80	I28,IO	I40,30
P_3	I25,05	9I,50	94,55	97,60	I09,80	I25,00	82,35	88,45	I09,80	I34,20	I46,40	I34,20
P_4	I70,80	23I,80	I98,25	2I3,50	280,60	250,IO	268,4	286,70	268,40	268,40	3I7,20	402,60
P_5	I28,IO	I03,70	97,60	97,60	2I3,50	I83,00	I76,90	I22,00	I40,30	I64,7	I52,50	I70,80
P_6	9I,50	73,20	73,20	79,30	73,20	II8,95	6I,00	76,25	85,40	I28,IO	I42,70	I58,60
P_7	I76,90	I52,50	I58,00	79,30	204,35	23I,80	I64,70	I52,50	I22,00	I46,40	I70,80	I73,85
P_8	I49,45	II5,90	I28,IO	I40,30	I64,70	I83,IO	I83,20	I52,50	I34,20	I89,IO	204,35	2I3,50
P_9	II2,85	97,60	I83,00	I95,20	I09,80	I49,45	2I9,60	I03,70	I55,55	I52,50	I42,70	I79,95
P_{IO}	I28,IO	95,00	I25,05	I28,IO	I34,20	I70,80	I40,30	I22,00	I83,00	I6I,60	225,70	207,40
P_{II}	I79,95	I52,50	I52,50	I89,IO	I76,90	I46,40	II5,90	I39,50	I37,25	237,90	256,20	247,20
P.P	353,80	323,30	308,05	3II,IO	335,50	3I7,20	326,35	sec	262,30	299	384,30	408,70

B I B L I O G R A P H I E

Abréviations

B.R.G.M. - Bureau de Recherches Géologiques et Minières

C.V.D. - Centre Documentation Universitaire

C.E.A. - Commissariat à l'Energie Atomique.

ARMAND L. - I963 - Mémento technique de l'eau. Chap.I5 formulaire p.584 - 59I. Degremont.

CAILLEUX A. et VERGER F. - I96I - Graphiques granulométriques, courbes cumulatives, canoniques et indices numériques p.I7 - 26 Editions C.D.V. - Paris.

CASTANY G. - I963 - Traité pratique des eaux souterraines. I vol. 657p. Dunod. Paris.

DAVID J. - I96I - Hydrogéologie et géochimie de la région de Rochefort-sur-Mer. Laboratoire d'Hydrogéologie de la Faculté des Sciences de Bordeaux. I vol.I03p. I9 pl.

DAVIDSON J.M., BIGER J.W., et NIELSEN D.R. - I963 - "Gamma radiation attenuation for measuring bulk density and transient. Water flow in porous materials". J.Gepphys. Res, 68 p.4777 - 83.

DEGOT R. et LEVEQUE P. - I965 - Mesures pratiques de la densité et de l'humidité des terrains par les méthodes nucléaires. Direction Scient. B.E.R.G.A. Chap.I p. I - 30 Chap.III p.77 - 90 - B.R.G.M. Paris DS 65 - A 94 5 novembre I965.

FABRE A. - I939 - Les terrains de revêtement du Médoc - I^e partie, chap.III : La nappe alluviale interne (Région de Bordeaux p.II3 - II8 et I45 - I53) - 2^e partie, résumé, explication des faits et résultats p.272 - 322 - Drouillard - Bordeaux.

B I B L I O G R A P H I E

Abréviations

B.R.G.M. - Bureau de Recherches Géologiques et Minières

C.V.D. - Centre Documentation Universitaire

C.E.A. - Commissariat à l'Energie Atomique.

ARMAND L. - I963 - Mémento technique de l'eau. Chap.I5 formulaire p.584 - 59I. Degremont.

CAILLEUX A. et VERGER F. - I96I - Graphiques granulométriques, courbes cumulatives, canoniques et indices numériques p.I7 - 26 Editions C.D.V. - Paris.

CASTANY G. - I963 - Traité pratique des eaux souterraines. I vol. 657p. Dunod. Paris.

DAVID J. - I96I - Hydrogéologie et géochimie de la région de Rochefort-sur-Mer. Laboratoire d'Hydrogéologie de la Faculté des Sciences de Bordeaux. I vol.I03p. I9 pl.

DAVIDSON J.M., BIGER J.W., et NIELSEN D.R. - I963 - "Gamma radiation attenuation for measuring bulk density and transient. Water flow in porous materials". J.Gepphys. Res, 68 p.4777 - 83.

DEGOT R. et LEVEQUE P. - I965 - Mesures pratiques de la densité et de l'humidité des terrains par les méthodes nucléaires. Direction Scient. B.E.R.G.A. Chap.I p. I - 30 Chap.III p.77 - 90 - B.R.G.M. Paris DS 65 - A 94 5 novembre I965.

FABRE A. - I939 - Les terrains de revêtement du Médoc - I^{e} partie, chap.III : La nappe alluviale interne (Région de Bordeaux p.II3 - II8 et I45 - I53) - 2^{e} partie, résumé, explication des faits et résultats p.272 - 322 - Drouillard - Bordeaux.

KING F.H. - I897 - I898 - Principles and conditions of the movements of ground-water. p.59 - 294.
Niveteenth annual report of the United States geological Survey. Washington Govermment Printing Office. I889

MAERTENS C., MORIZET J. et STUDER R. - I965 - Modalités d'utilisation en agronomie d'un humidimètre à ralentissement de Neutrons p.5 - 20. Annales Agronomiques, vol.I6, n°I, I965.

MARCESSE J. - C.E.A : Cadarache
Application nucléaire dans la détermination de la teneur en eau du sol - L'humidimètre à Neutrons.
I vol. 6 pages, 4 fig.

- C.E.A. : Cadarache
Quelques régles d'utilisation pratique de l'humidimètre à Neutrons de profondeur HP II0. Département de Biologie, section de Radio-agronomie.

MEINZER E.O. - I923 - Outline of ground-water hydrology with definitions. Geological survey water-supply I vol. 7I p. ed. U.S. Govermment printing office : I960

- I939 - Ground water, permeability, specific yield. Polycopie 6 pages.

MILCENT A. - I963 - Etude hydrogéologique de la nappe phréatique de la bordure occidentale du Médoc entre Lacanau et Hourtin (Gironde). Thèse 3e cycle Fac.des Sc. Bordeaux.
I vol. 207p. 44pl. 9 cartes.

POMEROL C. et FOUET R. - I96I - Les roches sédimentaires. Chap.II. Méthode d'étude des sédiments. p.29 - 37. Presses Universitaires de France. I96I. Paris.

POUCHAN P. - I959 - Etude des nappes à l'aide du régime transitoire. Thèse de 3e cycle. Fac. des Sc. Bordeaux, I vol. 85p. I8pl.

SAMILGIL E. - I962 - Etude hydrodynamique des deux nappes du quaternaire. Thèse de 3e cycle. Fac. des Sc. de Bordeaux. Ivol. I45p. 52pl.

SCHOELLER H. - I955 - Hydrogéologie Institut Français du Pétrole. Ecole Nationale Supérieure du Pétrole et des Moteurs.
Vol.II. La géochimie des eaux souterraines, des eaux de gisement en particulier. p.2I3-266. Ed. Technip Paris.

SCHOELLER H. - I956 - Géochimie des eaux souterraines. Application aux eaux des gisements de pétrole. Chap.I p.8 - 65 Chap.II p.II3 - I36. Ed. Technip. Paris.

- I962 - Les eaux souterraines. Ivol. 642p. I87fig. Masson - Paris.

SCHOELLER M. - I963 - Recherches sur l'acquisition de la composition chimique des eaux souterraines. Thèse de doctorat d'Etat. Université de Lyon. 23Ip. 30 fig. Imp. E. Drouillard. Bordeaux.

SLICHTER C.S. - I897 - 98 - Theoretical investigation of the motion of ground waters. Pages 30I - 332. Nineteenth annual report of the United States geological survey. Washington. Govermment Printing Office. I899.

TOOD D.K. - I963 - Ground Water hydrology. I vol.336p. John Wiley and Sons. Inc. New York.

VATAN A., FONDEUR C. et ROUGE P. - I954 - Pétrographie sédimentaire. I vol. p.279, 96 fig. Ed. Technip. Paris

WIEST R.J.M. de - I965 - Geohydrology. I vol. 366p. I88 fig. John Wiley and Sons, Inc. New-York. London. Sydney.

-=-=-=-=-=-

Carte géologique de la France au I/80.000e - Feuille de Bordeaux n°I80

-=-=-=-=-